



सत्यमेव जयते

INDIAN AGRICULTURAL  
RESEARCH INSTITUTE, NEW DELHI

I.A.R. 1.6.

GIP NLK—H-3 I.A.R.I.—10-5-55—15,000







臺北帝國大學理農學部紀要

第十二卷 第一號

昭和九年四月

---

MEMOIRS  
OF THE  
FACULTY OF SCIENCE  
AND  
AGRICULTURE

TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY

Vol. XII, No. 1-3

APRIL, 1934

---

KOIDSUMI, Kiyooki:

Experimentelle Studien über die Transpiration und den  
Wärmehaushalt bei Insekten.

---

PUBLISHED

BY THE

TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY

FORMOSA, JAPAN



臺北帝國大學理農學部紀要

第十二卷

昭和九年—昭和十年

---

MEMOIRS  
OF THE  
FACULTY OF SCIENCE  
AND  
AGRICULTURE  
TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY

---

Volume XII. —XII

---

1934-1935

1934—36

TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY  
FORMOSA, JAPAN



# CONTENTS

---

	<i>Page.</i>
KOIDSUMI, Kiyoaki:—Experimentelle Studien über die Transpiration und den Wärmehaushalt bei Insekten, I. ... ..	1
KOIDSUMI, Kiyoaki:—Experimentelle Studien über die Transpiration und den Wärmehaushalt bei Insekten, II. ... ..	281
MAKI, Takadi:—A Study of the Musculature of the Phasmid <i>Megacrania Tsudai</i> Shiraki. ... ..	181



## **PUBLICATION COMMITTEE**

**Professor Bunichirô AOKI**, Dean of the Faculty (*ex officio*)

**Professor Ichirô HAYASAKA**

**Professor Takashi MATSUMOTO**

**Professor Kichimatsu MATSUNO**

**Professor Tokuichi SHIRAKI**

**Professor Tyôzaburô TANAKA**

---

The MEMOIRS OF THE FACULTY OF SCIENCE AND AGRICULTURE, Taihoku Imperial University, are published occasionally by the University, which exchanges them with the publications of other learned bodies and institutions throughout the world. Separate series will be sent to individual research institutions, and complete series to the central libraries of universities and larger institutions. Copies of the Memoirs may also be obtained from MARUZEN COMPANY LTD., Tôkyô, Japan, and THE TAIWAN NICHİ-NICHİ SHINPÔ-SHA, Taihoku, Formosa, Japan.

All communications regarding the Memoirs should be addressed to the Dean of the Faculty of Science and Agriculture, Taihoku Imperial University, Taihoku, Formosa, Japan.





# EXPERIMENTELLE STUDIEN ÜBER DIE TRANSPIRATION UND DEN WÄRMEHAUSHALT BEI INSEKTEN

## I. MITTEILUNG :

### ALLGEMEINE NACHWEISE UND QUANTITATIVE BESTIMMUNGEN DER TIERISCHEN TRANSPIRATION

(Mit 2 Textabbildungen)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 21, 1933)

#### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung ... ..	1
B. Problemstellung und Methoden ... ..	4
I. Kondensationsmethode... ..	4
II. Bestimmung der Gewichtszunahme von wasserabsorbierenden Substanzen ... ..	5
III. Polymettermethode... ..	10
IV. Farbveränderungsmethode ... ..	11
V. Gravimetrische Methode ... ..	12
C. Zusammenfassung... ..	18
D. Literatur ... ..	18

#### A. EINLEITUNG

Die Ausscheidung des Wassers aus dem tierischen Körper findet, spezielle Fälle ausgenommen, im wesentlichen in zwei Formen statt: als sichtbare flüssige Harnabsonderung, Kotentleerung und Schweisssekretion, und als unmerkliche dunstförmige Ausscheidung durch Haut und Ausgangsöffnungen der Atemorgane. Diese Verhältnisse finden eine Parallele in der pflanzlichen Wasserabgabe. In der

Botanik pflegen die Physiologen die Ausscheidung von Wasser in Gasform aus lebenden Geweben unverletzter Pflanzen oder Pflanzenteile als Transpiration zu bezeichnen, und, im Gegensatz dazu, die sichtbare Bildung von Wassertropfen an der Oberfläche der Pflanzenteile, insbesondere der Blätter, als Guttation.

Die Haut der Tiere gibt ununterbrochen zu jeder Zeit Wasser in gasförmigem Zustande ab, während sie selbst trocken bleibt. Die Erscheinung ist von jeher bekannt und "*Perspiratio insensibilis*" genannt worden. Es handelt sich dabei um eine physikalische Wasserdiffusion durch die Epidermis hindurch, die Schweißdrüsen sind daran nicht beteiligt.

Die Tiere entleeren auch verschiedene Mengen von Wasserdampf durch die Lungen bei der Ausatmung.

Diese zwei Arten Wasserdampfausscheidung verursachen einen für Gefühl und Gesicht nicht wahrnehmbaren Gewichtsverlust des tierischen Körpers und waren schon lange in der Physiologie als "*gesamte insensible Perspiration*" oder "*unmerkliche Wasserverdunstung*" bekannt. Da diese Wasserdampfausscheidung der Tiere, welche sich sowohl auf Haut wie Atemorgane bezieht, hinsichtlich ihrer Erscheinungsformen sowie ihrer biologischen Bedeutung grosse Ähnlichkeit mit pflanzlicher Transpiration hat, wie sich aus dieser Serie von Mitteilungen ergeben wird, möchte ich sie "*tierische Transpiration*" nennen.

Die tierische Transpiration ist seit langem und wiederholt hauptsächlich von Medizinern untersucht worden. Aber da die Versuchsobjekte nur auf Menschen oder höhere Warmblüter beschränkt waren\*, so waren unsere Kenntnisse über diese Erscheinung bei niederen Tieren vom Standpunkt der vergleichenden Physiologie aus sehr lückenhaft.

Die Transpiration ist von grosser physiologischer Bedeutung, da durch sie infolge der erzeugten Verdunstungskälte eine vom Stoffwechsel herrührende zu starke Erhitzung des tierischen Körpers

\* Zahlreiche Literaturangaben siehe z. B. bei WEYRICH (1862), GALEOTTI u. SIGNORELLI (1912), SHELFORD (1913), BENEDICT u. BENEDICT (1927).

verhütet wird. Das ist besonders wichtig bei Kaltblütern, bei denen die Wärmeabgabe durch Transpiration in weit höherem Masse als durch Wärmestrahlung und -leitung stattfindet, da ihre Temperatur annähernd die gleiche ist wie die der Umgebung. Nach meinen Untersuchungen, deren Ergebnisse in einer nachfolgenden Mitteilung\* ausführlich gegeben werden, betrug die Wärmeabgabe durch die unsichtbare Wasserabgabe bei einigen Insektenarten durchschnittlich etwa 80-100% der gesamten Wärmeabgabe. Ausserdem muss man bedenken, dass die Transpiration ähnlich wie bei Pflanzen auf die Zirkulation der Körperflüssigkeiten fördernd und auf den Wassergehalt des Tierkörpers regulatorisch wirkt.

Es ist kaum nötig zu sagen, dass solchen physiologischen Verhältnissen (wie die oben erwähnten) bei der geographischen Verbreitung wie bei dem zeitlichen Auftreten der Tiere eine bedeutende Rolle zukommt. In der Tat ist die Bestimmung der Transpirationsgrösse für die Studien der Tierökologie unentbehrlich, und sie hat auch die wichtigste Stellung in der experimentellen Ökologie inne, wie SHELFORD (1913, '14, '29) und BUXTON (1930, '31) behaupten. Es ist daher sehr bedauerlich, dass noch kaum jemand sich an derartige Studien bei Poikilothermen herangemacht hat.

Seit einigen Jahren bin ich mit den Studien der tierischen Transpiration, besonders bei Insekten, beschäftigt und zwar sowohl von vergleichend physiologischen als auch ökologischen Gesichtspunkten aus. Da meine Studien viele interessante Resultate ergeben haben, möchte ich über sie in einer Reihe von aufeinanderfolgenden Mitteilungen berichten.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich vor allem Herrn Professor Dr. T. SHIRAKI, Direktor des entomologischen Laboratoriums der Universität Taihoku, für seine stets freundliche Hilfe herzlich danken, die mir ermöglichte, die vorliegende Arbeit auszuführen. Auch den Herren Professoren Dr. T. KAWAMURA, Vorstand des zoologischen Instituts der Universität in Kyoto, und Dr. H. YUASA, Direktor des entomologischen Laboratoriums an der gleichen Universität, bin ich

\* s. X. Mitteilung dieser Serie.

für ihre wohlwollenden Anregungen und wertvollen Ratschläge zu bestem Dank verpflichtet.

## B. PROBLEMSTELLUNG UND METHODEN

Sehr leicht ist nur die Beantwortung der Frage, ob die Tiere überhaupt unmerklich Wasser abgeben - der qualitative Nachweis der Transpiration. Sie wird aber viel verwickelter, wenn es darauf ankommt, den abgegebenen Wasserdampf quantitativ zu bewerten und die Konstanz der Anteile der einzelnen die Transpirationsgrösse beeinflussenden Faktoren zu bestimmen. Die quantitative Analyse der Wasserverdunstung aus tierischen Systemen wird immer ohne Erfolg in Angriff genommen werden, wenn man sich nicht darüber klar ist, dass eine sehr genaue Messung der verdunstungsbestimmenden äusseren Faktoren, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Licht, Bewegung und Luftdruck ebenso unentbehrlich ist wie die Kenntnis der Zustände der verdunstenden Systeme.

Die Bestimmungsmethoden, welche wir bei der pflanzlichen Transpiration kennen gelernt haben (s. BURGERSTEIN 1904, '20, '25, MAXIMOV 1929), gelten auch im Prinzip für die tierische Transpiration.

Ich will nun im folgenden über die verschiedenen an Insekten ausprobierten Versuchsmethoden berichten. Es gibt ihrer fünf, die je nach dem Versuchszweck in Betracht kommen.

### I. Kondensationsmethode

Nach dieser Methode wird der Körper des Tieres in ein Glasgefäss eingeschlossen und die Transpirationsgrösse auf Grund der Menge des kondensierten Wasserdampfes gemessen. Bei der pflanzlichen Transpiration wurde diese Methode zuerst von GUETTARD 1748 (s. BURGERSTEIN 1904) angewandt.

Legt man eine Anzahl Tiere in ein geschlossenes Glasgefäss hinein, so sieht man nach einiger Zeit die Wand des Gefässes etwas angefeuchtet und angelaufen, und der Wasserdampf verdichtet sich

bald zu Tröpfchen. Es handelt sich dabei um Kondensation des von den Versuchstieren abgegebenen Wasserdampfes.

Es ist klar, dass diese Methode nur grobe, d. h., qualitative Resultate liefern kann, da sich die Versuchsobjekte in einem nahezu dunstgesättigten Raum befinden. Ein solcher Umstand hindert ohne Zweifel den weiteren normalen Fortgang der Transpiration. Sie ist auch bei Verwendung kleiner Tiere und bei kürzerer Versuchsdauer unbrauchbar.

## **II. Bestimmung der Gewichtszunahme von wasserabsorbierenden Substanzen**

Um die Fehlerquellen der allmählichen Dampfsättigung des Versuchsraumes zu beseitigen, bedient man sich einer anderen Methode, welche in der Zuleitung einer gewissen Wasser absorbierenden Substanz in das Versuchsgefäß, in dem sich die Versuchstiere befinden, besteht. Der Gewichtszuwachs dieser Substanz entspricht dem Gewicht des von den Tieren abgegebenen Wasserdampfes. Als hygroskopische Substanzen werden zumeist wasserfreie Körnchen von Chlorkalzium oder Phosphorsäureanhydrid und konzentrierte Schwefelsäure verwendet. Bei der Verwendung von Schwefelsäure könnte man befürchten, dass die verdunstende Säure schädlichen Einfluss auf die Tiere habe. Solche Befürchtung ist aber unnötig, weil der Dampfdruck der Schwefelsäure unter normalen Temperaturen sehr niedrig ist.

Diese zweite Methode hat aber im Gegensatz zur ersten den Nachteil, dass sich die Tiere in einer zu trockenen Luft befinden.

Eine weitere Verbesserung der Methode besteht darin, dass ein fortdauernder Luftstrom durch das Gefäß hindurchgeleitet wird. Der entweichende Luftstrom enthält den abgegebenen Wasserdampf und wird dann in ein eine hygroskopische Substanz enthaltendes Gefäß geleitet, die den Dampf absorbiert. Dieses Verfahren wird als Freeman'sche Methode bezeichnet (FREEMAN 1908). Mit Hilfe dieser von FREEMAN bei Pflanzen benutzten Methode konnte ich auch

bei der tierischen Transpiration viel bessere Ergebnisse erhalten. Mein Apparat ist schematisch in untenstehender Abbildung dargestellt.

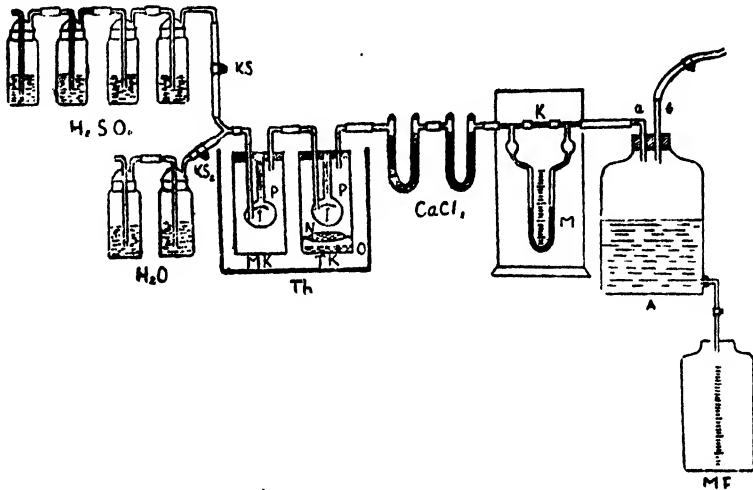


Abb. 1. Der von mir gebrauchte Transpirationsapparat.  
Erklärung im Text.

Zunächst gebrauchte ich eine als Transpirationskammer dienende Glasflasche TK, in die die Versuchstiere eingeführt werden können. Mit dieser Flasche wird eine andere ähnliche Flasche MK verbunden, die zur Mischung von getrockneter und angefeuchteter Luft dienen soll - die Mischungskammer. Die zu trocknende Luft wird durch vier aufeinanderfolgende Waschflaschen, von denen jede konzentrierte Schwefelsäure enthält, hindurchgeleitet, und die anzufeuchtende Luft durch zwei mit destilliertem Wasser gefüllte Flaschen, die parallel zu den Schwefelsäureflaschen aufgestellt werden. Um die Luft in der Mischungskammer und fernerhin in der Transpirationskammer bei beliebiger konstanter Feuchtigkeit halten zu können, verwendete ich zwei Gummiröhren (in den Klemmschrauben  $KS_1$  und  $KS_2$ ), durch die die beiden Arten von Luftströmen geleitet wurden. Wenn zwei Lambrecht'sche Polymeter P, in der Mischungs- bzw. Transpirationskammer aufgehängt, die die Feuchtigkeit und Temperatur der Kammerluft anzeigen, zu hohe Feuchtigkeit melden, so muss das Gummrohr, durch das die angefeuchtete Luft geht, durch die Klemmschraube  $KS_2$  enger geschlossen werden, damit mehr trockene und weniger

feuchte Luft durchgelassen wird. Wenn wir hingegen mehr feuchte Luft einführen wollen, ist die Klemmschraube  $KS_1$  in geeignetem Grade zu schliessen.

Die Transpirationskammer wird nach der anderen Seite hin mit zwei Chlorkalziumkörnchen enthaltenden U-Röhren versehen, deren Differenz im Gewicht am Beginn und am Ende des Versuches festgestellt wird. Die Differenz gibt das Gewicht des von den Tieren transpirierten Wassers an, vermehrt um das Gewicht des Wasserdampfes, der in der durchaspirierten Luft enthalten war. Dieses muss demnach in Abzug gebracht werden. Man erhält es, wenn man in einem Parallelversuch ein bestimmtes Quantum derselben Luft für die Zeitdauer des Transpirationsversuches durch mit Chlorkalzium beschickte U-Röhren streichen lässt und deren Gewichtszunahme dann ermittelt.

Das Durchsaugen des Luftstromes wird entweder mit einer Wasserstrahlpumpe oder mit einem Aspirator bewerkstelligt, der das letzte Glied des gesamten Apparates darstellt. Der Aspirator A besteht aus einer Flasche von etwa 20 Liter Inhalt, die oben mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen ist, durch welchen zwei Glasröhren a und b in die Flasche hineinführen. Die Flasche hat auch nahe am Boden eine Mündung, durch die ein Glasrohr, das einen Hahn hat, aus der Flasche hinausführt. Lässt man durch diese Röhrrchen eine konstante Menge von Wasser in eine Messungsflasche MF ausfliessen, so kann durch a ein Luftstrom mit einer beliebigen Geschwindigkeit ausgetrieben werden.

Um den Luftstrom mittelst der Wasserstrahlpumpe regulieren zu können, verwandte ich folgenden Apparat.

Der Luftstrom wird durch zwei Röhren a und b durch eine leere Glasflasche RF von etwa 0,5 Liter Inhalt durchgeleitet, die als Zwischenregulierungsraum eingerichtet ist. Ein schmales Röhrrchen c verbindet die Regulierungsflasche mit einem weiten Glasrohr RR, durch dessen Gummistopfen ein langes Glasröhrrchen  $RR_c$  hindurchgesteckt ist, das sich am oberen Ende verengt und mit einem Hahn versehen ist. Das Regulierungsrohr RR enthält eine gewisse Menge



von Quecksilber, worin das untere Ende des Röhrchens  $RRc$  einge-

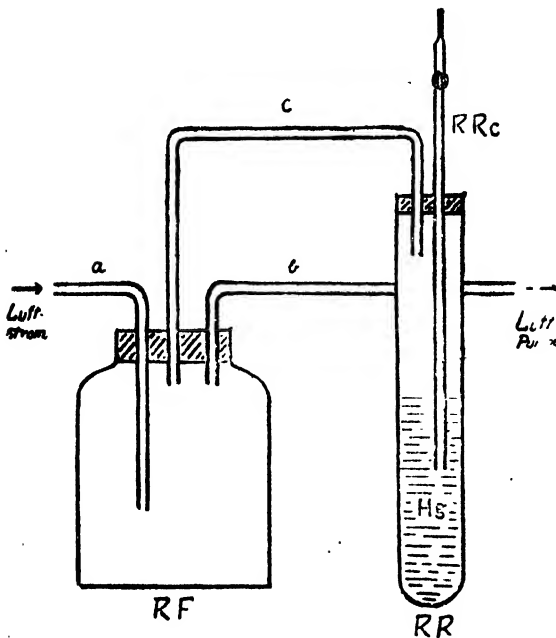


Abb. 2. Apparat zur Regulierung des Luftstromes. Erklärung im Text.

taucht ist. Die Regulierung des Luftstromes auf konstante Geschwindigkeit lässt sich leicht erreichen, wenn man den Hahn öffnet oder das Röhrchen bis zum geeigneten Niveau herunterlässt. Im voraus reguliert man nämlich die Öffnung des Hahnes und die tauchende Länge des Röhrchens im Quecksilber, so dass eine bestimmte Anzahl von Luftblasen in der Quecksilberschicht vom Röhrchen  $RRc$  bei einem

niedrigeren Saugdruck der Luftpumpe als bei zweckmässigem Druck aufsteigt. Dann beginnt man das Saugen mit bezwecktem Druck. Wenn der Saugdruck der Luftpumpe sich zu stark verändert, wird das Blasen aufsteigen heftig, wenn der Druck zu niedrig ist, wird es vermindert; dadurch kann man die Geschwindigkeit der Luftdurchführung regulieren.

Die Geschwindigkeit der durchziehenden Luft wird mit dem Manometer  $M$  ermittelt.

Es ist selbstverständlich, dass die als Transpirations- bzw. Mischungskammer dienenden Glaszylinder in einen Wasserthermostat eingetaucht werden, um beliebige Temperaturen auf die Tiere einwirken lassen zu können.

Diese Methode kann wie folgt modifiziert werden.

Die Ventilationsluft, die durch vier miteinander verbundene, mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllte Waschflaschen völlig getrocknet

ist, wird in einer fünften Flasche (Beladungsflasche), die einiges Wasser bzw. Schwefelsäure von bestimmtem spezifischem Gewicht enthält, mit einer bestimmten Feuchtigkeit beladen und dann in die Transpirationskammer geleitet, in der sich die Versuchstiere befinden. Auf die Transpirationskammer folgen zwei mit frisch geschmolzenem Chlorkalzium gefüllte Trocken-U-Röhren, wie es bei dem oben beschriebenen Apparat der Fall ist. Der Gewichtszuwachs der Trockenröhren am Ende des Versuches gibt das Gewicht des von den Tieren transpirierten Wassers an, vermehrt um das Gewicht des Wasserdampfes, der in der durchgeführten Luft aus der Beladungsflasche enthalten war. Bringt man ferner die Abnahme des Gewichtes der Beladungsflasche während des Versuches in Abzug, so gewinnt man den Wert des ausschliesslich von den Tieren abgegebenen Wasserdampfes.

In beiden Fällen befinden sich die Versuchstiere auf einem Drahtgestell in der Transpirationskammer. In die Kammer wird vor Beginn des Versuches etwas Rüböl eingegossen, damit die Tiere nicht etwa durch Entleerung von Kot das Experiment stören. Frisch entleerter Kot sinkt in dem Öl unter und wird in dieser Weise vor Wasserabgabe geschützt. Es ist eine ziemlich verbreitete Annahme, dass Ölschichten in mässiger Dicke für Wasserdampf undurchgängig seien. Aber diese Annahme erwies sich als nicht ganz richtig durch die Untersuchung von RUBNER (1890). Ich prüfte Rubner's Arbeit nach und gelangte zu demselben Ergebnis.

In zwei gleiche Schälchen, von denen eines etwas Wasser enthielt, indes das andere trocken war, wurde Rüböl gebracht, und beide Gläschen wurden unter dem Exsiccator stehen gelassen. Das nur Rüböl enthaltende Gläschen nahm nach mehreren Stunden an Gewicht fast gar nicht ab, während das wasserenthaltende einen ständigen Verlust zeigte, wie aus folgender Tabelle zu ersehen ist. Jedoch ist die Menge des Wassers, das während der kurzen Versuchsdauer von 5-6 Stunden auf diese Weise abgegeben wird, vermutlich so klein, dass diese Fehlerquelle für das Ergebnis der Experimente eigentlich nicht in Betracht kommt.

Tabelle 1.

Durchlässigkeit einer Rübölschicht für Wasserdampf.

Zeit nach Vers.- beginn Std.	Gläschen mit Rüböl g.	Abnahme mg.	Gläschen m. Rüb. u. H <sub>2</sub> O g.	Abnahme mg.
Anfang	59.4893		71.5634	
2	59.4890	0.3	71.5627	0.7
4	59.4889	0.1	71.5623	0.4
6	59.4889	0	71.5619	0.4
8	59.4887	0.2	71.5614	0.5
10	59.4886	0.1	71.5612	0.2

## III. Polymettermethode

Die von CANNON (1905 zit. n. BURGERSTEIN'S Handbuch, Bd. 2) bei der pflanzlichen Transpiration angewandte Polymettermethode kann

Tabelle 2.

Wasserdampfabgabe und Polymeterindex bei Bombyxpuppen.

Zeit nach Vers.- beginn in Min.	Index d. Polym. (Rel. Feucht. %)
Am Beginn	68
1	72
2	73
3	74
4	77
5	78
6	79
7	81
8	83
9	83
10	84
11	85
12	86
13	86
14	87
15	87
16	88
17	88
18	89
19	89
20	89
21	89
22	90
30	90
40	91
50	92
210	92

auch bei der tierischen Transpiration benutzt werden. Sie besteht darin, dass die Wasserdampfabgabe durch die Bestimmung der Differenz in der absoluten Feuchtigkeit eines abgeschlossenen Luftvolumens, in denen sich die Versuchstiere befinden, mit Hilfe des Lambrecht'schen Polymeters gemessen wird. Bei dieser Methode sind zwei Fehlerquellen zu berücksichtigen. Die erste besteht in der allmählich zustandekommenden Dampfsättigung im geschlossenen Raum, die zweite in dem Versagen des Polymeters, nachdem dieser den maximalen Index der relativen Feuchtigkeit gemeldet hat. Diese Methode ist daher unbrauchbar bei Verwendung lebhaft transpirierender Tiere und bei langer

Versuchsdauer, wie das folgende Beispiel zeigt.

Ich brachte 50 Puppen von *Bombyx mori* L. in ein zylinderförmiges Glas von 33 cm. Tiefe und 12 cm. Durchmesser und las in Zeitabständen von einer Minute den Index des neben den Tieren aufgehängten Polymeters ab. Die Daten sind in vorstehender Tabelle angegeben.

#### IV. Farbveränderungsmethode

Diese Methode ist schon früher wiederholt von vielen Botanikern verwendet worden. Stücke von Filterpapier werden mit einer 3-5%igen wässerigen Lösung von Kobaltchlorür imbibierte, an der Luft getrocknet und im Exsiccator aufbewahrt, in welchem sie eine intensiv blaue Farbe annehmen. Wird ein Stück dieses Kobaltpapiers von entsprechender Grösse in einem geschlossenen Glaszylinder aufgehängt, in dem die Versuchstiere sich befinden, so lässt sich aus der Geschwindigkeit der Verfärbung des Papiers ein Schluss auf die Grösse der Wasserabgabe ziehen. Ich will ein Beispiel anführen.

Ein 25 qmm. messendes Papier, das mit einer 4%igen Lösung von Kobaltchlorür imprägniert war, wurde mittels eines Drahtes vom oberen Deckel eines 23 cm. hohen und 12 cm. weiten Glaszylinders oberhalb des Bodens aufgehängt. In diesem Zylinder befanden sich drei Larven von *Clania variegata* SNELLEN. Es dauerte ungefähr 2.50 Sekunden (Durchschnittszahl von zehnmaligen Versuchen), ehe die blaue Farbe des Papiers sich bei der Anfangstemperatur von 28°C. und relativer Feuchtigkeit der Zylinderluft von 70% rot verfärbte.

Für eine genaue quantitativ vergleichende Bestimmung aber ist das oben geschilderte Verfahren nicht empfehlenswert, da die Methode den Nachteil des geschlossenen Versuchsraumes hat, und auch die genaue Zeitdauer der Farbveränderung schwer zu bestimmen ist.

Auf eine Methode muss ich noch hinweisen als eine Modifikation der Farbveränderungsmethode, die wohl sehr empfehlenswert ist für die Bestimmung der Transpirationsgrösse an verschiedenen kleinen begrenzten Bezirken der tierischen Haut. Es ist die Kollodiummethode, erfunden von BUSCALIONI-POLLACCI (1901 s. BURGERSTEIN

1920), die auf der Eigenschaft des Kollodiums, seine Transparenz zu verlieren, sobald es mit einer minimalen Menge Wasser in Berührung kommt, beruht. Eine Lösung von Kollodium in Äther wird mittels eines Pinsels in dünner Schicht auf die Oberfläche der Haut aufgetragen. In ganz kurzer Zeit verdunstet das Lösungsmittel, und das Kollodium bildet ein trockenes Häutchen, welches den Hautteil genau in demselben Zustand bedeckt, wie es aufgetragen worden war. Aus der Geschwindigkeit und Stärke der Trübung des Kollodiumhäutchens lässt sich ein Schluss auf die relative Transpirationsgrösse ziehen. In diesem Falle ist es sicher, dass die Trübung des Häutchens nicht auf die Feuchtigkeit der Luft selbst zurückzuführen ist, denn es tritt keine Trübung ein, d. h. es bleibt in seiner Transparenz beliebig lange unverändert, wenn wir den gleichen Versuch an einer trockenen Glasplatte ausführen. Mittels dieser Methode konnte ich bei den Studien der lokalen Wasserabgabe durch die Haut gute Erfolge erzielen, deren Ergebnisse in nachstehenden Veröffentlichungen mitgeteilt werden sollen.

## V. Gravimetrische Methode

Bei der gravimetrischen Methode erfolgt die Transpirationsbestimmung durch die direkte Wägung des Tierkörpers bzw. Ermittlung der Gewichts Differenz des die Versuchsobjekte enthaltenden Apparates am Beginn des Versuches und nach einer bestimmten Zeit. Diese Methode liefert die zuverlässigsten Resultate und ist dazu am einfachsten. Bei Verwendung dieser Methode können wir auch am leichtesten die Versuchstiere beliebigen Untersuchungsbedingungen unterziehen. Wenn wir z. B. den 2-Stundenwert der Wasserdampfausscheidung bei der Lufttemperatur von  $15^{\circ}\text{C}$ . und relativer Feuchtigkeit von 70% zu ermitteln wünschen, so genügt es schon, wenn wir die Gewichtsabnahme der Objekte während eines 2-stündigen Aufenthalts in einem die genannte Temperatur und Feuchtigkeit zeigenden Hygrothermostat feststellen.

Für die Wägung kleiner und leichter Tiere oder einer kleinen Anzahl von Tieren muss der geringen Gewichtsänderung wegen die

analytische Wage verwendet werden. Für grössere Objekte oder grössere Anzahl von Tieren leisten gewöhnliche Balancewagen gute Dienste.

Bei der gravimetrischen Methode darf die Frage nicht vergessen werden, ob die Gewichtsabnahme der Versuchstiere während der bestimmten Versuchsdauer allein auf der Transpiration der Tiere beruht. Dies ist ein sehr wichtiges in Betracht kommendes Problem, dem leider von manchen früheren Forschern sowohl von pflanzlicher wie auch von tierischer Transpiration nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt worden ist.

Unterbleibt die Nahrungsaufnahme und die Abgabe von flüssigen oder festen Exkrementen, wie Harn oder Kot, während der Versuchsdauer, so ist die Ursache der dauernden, unsichtbaren Abnahme an Körpergewicht nicht allein der Abgabe des Wasserdampfes zuzuschreiben, sondern es ist klar, dass dieser unsichtbare Verlust auf das Gleichgewicht zwischen der Einnahme von Sauerstoff und Wasserdampf aus der eingeatmeten Luft und der Abgabe von Kohlendioxyd und Wasserdampf durch Respirationsorgane und Haut zurückzuführen ist. Vorausgesetzt nun, dass die Mengen des eingeatmeten Sauerstoffs und des ausgeatmeten Kohlendioxyds genau gleich sind, so entspricht die Änderung des Körpergewichts der Gewichts Differenz zwischen ausgeschiedenem und aufgenommenem Wasserdampf, also der Menge des dem tierischen Gewebe entzogenen Wasserdampfes (Transpiration im engeren Sinne). In der Tat ist dies jedoch, streng genommen, nicht der Fall, sondern es gibt immer einen kleineren oder grösseren Gewichtsunterschied zwischen den beiden ausgetauschten Gasen. Dieses Verhältnis, das die Wägung des Körpergewichts zur Bestimmung der Transpiration immer in Frage stellt, ist in erschöpfender Weise von F. G. BENEDICT und C. G. BENEDICT (1927) bei Menschen studiert worden. Hier will ich über dieses Verhältnis bei Insekten einen Versuch mitteilen.

Wir haben ein Experiment, das den respiratorischen Gasaustausch bei Puppen von *Bombyx mori* L. nach KAWASE (1918) zeigt, aus den originalen volumetrischen Angaben in gr. umgerechnet. Zur

Umrechnung der Gasvolumina in Gewichtseinheiten diene die Tatsache, dass 1 gr. Kohlensäure bei Normaldruck und Normaltemperatur ein Volumen von 509 und 1 g. Sauerstoff dasjenige von 700 cc. besitzt.

Tabelle 3.

Respiratorischer Gaswechsel und Körpergewichtsänderung bei Bombyxpuppen.

Alter d. Puppen in Tagen	7	1	3	6
Zahl d. Puppen	30	20	30	50
Körpergewicht (g.)	31.0862	22.4900	34.9352	60.7700
Versuchsdauer (Std.)	1	1	1	2
Temperatur (°C)	25	26	26.5	23
Baromet. Druck (mm.)	714	713	712	719
O <sub>2</sub> -Aufnahme (cmm.)	20.58	12.07	14.26	30.04
CO <sub>2</sub> -Abgabe (cmm.)	15.42	8.93	9.87	18.53
Resp. Quotient	0.749	0.740	0.692	0.619
Gewicht d. eingeatm. O <sub>2</sub> (mg.)	2.53	1.51	1.74	3.74
Gewicht d. ausgeatm. CO <sub>2</sub> (mg.)	2.61	1.52	1.66	3.19
O <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> (mg.)	-0.08	-0.01	+0.08	+0.55
Körpergew.Änderung p. Kg. u. Std. mg.	-2.57	-0.44	+2.58	+4.53

Aus der Tabelle ist folgendes ersichtlich. Bei respiratorischen Quotienten über 0.692 ist das Gewicht des eintretenden O<sub>2</sub> kleiner als das des austretenden CO<sub>2</sub>, es erfolgt also eine Körpergewichtsabnahme; wenn aber der Quotient kleiner als der oben genannte Wert ist, so dass das Gewicht des O<sub>2</sub> das des CO<sub>2</sub> übertrifft, nimmt das

Körpergewicht zu. Wir sehen aber, dass diese auf dem Gaswechsel beruhende Gewichtsänderung sehr gering ist innerhalb der untersuchten Grenzen der respiratorischen Quotienten. Sie beträgt nur Milligramme, obgleich sie auf 1 kg. Körpergewicht und 1 Stunde, wie die Zahlen in der letzten Kolumne zeigen, umgerechnet wurde. Es wird daher klar, dass man diese Werte bei der Beurteilung der durch die gravimetrische Methode ermittelten Transpiration ruhig ausser Acht lassen kann, wenn wir bedenken, dass die Wasserdampfabgaben immer Gramme betragen, umgerechnet auf dasselbe Gewicht und dieselbe Zeit. Nach meinen Untersuchungen bei demselben Versuchsobjekt und derselben Temperatur wie die von KAWASE betrugen die umgerechneten Werte der Transpiration auf 1 kg. Gewicht und 1 Stunde 0.6–2.8 g. (sie wechseln je nach der Feuchtigkeit). Über die ausführlichen Daten werde ich in einer nachstehenden Mitteilung berichten. Daraus ist ersichtlich, dass die Änderung im Körpergewicht dem Gewichtsunterschied zwischen den ein- und ausgeatmeten Gasen nur mit 0.01–0.5% der gesamten Körpergewichtsveränderung zuzuschreiben ist.

Ferner werde ich ein Resultat meiner Berechnung über die Änderung des Körpergewichts anführen, die je nach den allgemeinen respiratorischen Quotienten auf den respiratorischen Gasaustausch zurückzuführen ist.

Tabelle 4.

Respiratorischer Quotient und Körpergewichtsänderung.

Respiratorischer Quotient.	Entsprechend. Gew. d. ausgeatm. CO <sub>2</sub> falls eingeatm. O <sub>2</sub> =32g. g.	Körpergew.Änderung (O <sub>2</sub> –CO <sub>2</sub> ) g.	$\frac{\text{O}_2 - \text{CO}_2}{\text{Ausgeatm. CO}_2} \times 100$
3	132	– 100	– 75.8
2	88	– 56	– 63.6
1	44	– 12	– 27.3
0.9	39.6	– 7.6	– 19.2
0.8	35.2	– 3.2	– 9.1
0.7272	32.0	± 0	± 0
0.7	30.8	+ 1.2	+ 3.9
0.6	26.4	+ 5.6	+ 21.2
0.5	22.0	+ 10	+ 45.5
0.4	17.6	+ 14.4	+ 81.8



Bei dem Quotient 0.7272 ist das Gewicht des eingeatmeten  $O_2$  und das des ausgeatmeten  $CO_2$  genau gleich ; folglich ändert sich das Körpergewicht nicht. Bei grösseren Quotienten als 0.7272 nimmt aber das Körpergewicht ab, wegen des grösseren Gewichts von  $CO_2$  gegen  $O_2$ , und bei kleineren Quotienten ergibt sich eine Gewichtszunahme wegen des kleineren Gewichts von  $CO_2$  gegen  $O_2$ . Wenn wir aber das Berechnungsergebnis in der letzten Spalte ansehen, die zeigt, in welchem Prozentsatz die ausgeatmete Kohlensäure die Körpergewichtsänderung verursacht, so ist zu erkennen, dass bei den Quotienten grössen zwischen 0.6 und 1 (innerhalb welcher Grenzen der Quotient bei lebenden Organismen gewöhnlich schwankt) die Änderung des Körpergewichts verhältnismässig sehr klein ist.

Hier möchte ich ein Ergebnis meiner Untersuchungen erwähnen, das zeigt, dass die respiratorische Gasaustausch zuzuschreibende Gewichtsänderung so gering ist, dass sie unberücksichtigt bleiben dürfte. 30 Puppen von *Bombyx mori* (Gesamtgewicht 46.5575 g.) wurden in die Transpirationskammer, die in der Abbildung 1 gegeben ist, gebracht und die während einer Stunde von den Tieren ausgeschiedene Menge des Wasserdampfes durch die Gewichtszunahme der Calciumröhrchen und das Körpergewicht am Ende des Versuches bestimmt. Bei der Temperatur von  $27^\circ C$ . und relativer Feuchtigkeit von 35% betrug nach der ersten Methode die gesamte Wasserabgabe 0.0293 g., während das Körpergewicht um 0.0312 g. abgenommen hatte. Daher entsprechen  $0.0312\text{ g.} - 0.0293\text{ g.} = 0.0019\text{ g.}$  der dem respiratorischen Gaswechsel zuzuschreibenden Gewichtsänderung. Hieraus ist ersichtlich, dass dem durch Wägung ermittelten Transpirationswert nur ein Fehler von etwa 6% anhaftet.

Aus den obigen Beweisführungen können wir mit grosser Wahrscheinlichkeit sagen, dass die gravimetrische Methode ziemlich zuverlässigen Anhalt für das Ergebnis der Transpirationsmessung gibt, und die Einfachheit der Methode schliesst sich leicht einschleichende Fehler eher aus. Aus den Meinungen von BUXTON (1930), KÜNKEL (1916) und MAXIMOV (1929) können wir auch sehen, dass das Gleiche auch nicht nur bei anderen Insektenarten, sondern auch bei

Landschnecken oder Pflanzen der Fall ist.

Bei gravimetrischer Untersuchung und auch bei anderen Methoden muss die Nahrungsaufnahme der Tiere während der Versuchszeit unterbleiben. Das Fasten während kurzer Zeit, wie etwa 10 Stunden, übt keinen Einfluss auf die Transpiration aus.

Da Tiere durch die Entleerung von Kot das Experiment stören, wäre es wünschenswert, Objekte wie Puppen oder Eier zu verwenden, die keine solchen Exkremente absondern; aber auch Larven oder Imagines können wir nach der im folgenden beschriebenen Methode benutzen.

Auf einem kleinen Drahtnetz in einer Glasschale, in die vor Beginn des Versuches etwas Rüböl eingegossen wird, befinden sich die Versuchstiere. Die Maschen des Netzes müssen so gross sein, dass die Tierkörper nicht hinunterfallen können, sondern nur der Kot. Frisch entleerte Exkremente sinken im Öl unter und werden in dieser Weise an der Wasserverdunstung gehindert. Wenn nun das Tiergewicht am Beginn des Versuches mit dem Gewicht der Schale samt Drahtnetz und Öl mit  $a$ , das Gewicht der Schale am Ende des Versuches samt Netz und Kot enthaltendem Öl mit  $c$ , und das Tiergewicht am Beginn des Versuches mit  $b$  und am Ende mit  $d$  bezeichnet wird, so kann die Menge des von den Tieren ausgeschiedenen Wasserdampfes  $V$  nach der Formel

$$V = b - [d + (c - a)]$$

berechnet werden, wobei  $c - a$  das Gewicht des von den Tieren ausgeschiedenen Kotes darstellt. Ein Beispiel soll hier gegeben werden. Ein Glasbecher (Höhe 8 cm., Durchmesser 6 cm.) mit 40 ccm. Rüböl, in dem sich auf einem Drahtnetz eine Larve von *Clania variegata* SNELLEN befand, wurde in ein Hygrothermostat, das konstante Temperatur von 26°C. und relative Feuchtigkeit von 20% zeigte, gestellt. Nach Verlauf von 3 Stunden wurde folgendes Resultat gewonnen, wie die Berechnung zeigt.

$$a = 65.8971 \text{ g.}$$

$$b = 0.8108 \text{ g.}$$

$$c = 65.9322 \text{ g.}$$

$$d=0.7400 \text{ g.}$$

Daher

$$V=0.8108 \text{ g.} - [0.7400 \text{ g.} + (65.9322 \text{ g.} - 65.8971 \text{ g.})] = 0.0357 \text{ g.}$$

### C. ZUSAMMENFASSUNG

In vorliegender Arbeit sind allgemeine Methoden zum qualitativen wie quantitativen Nachweis der tierischen Transpiration mit besonderer Berücksichtigung der Insekten unter 5 Überschriften mitgeteilt worden.

Die folgenden vier Methoden :

1. Kondensationsmethode,
2. Methode zur Bestimmung der Gewichtszunahme von wasserabsorbierenden Substanzen,
3. Polymetermethode und
4. Farbveränderungsmethode

sind vor allem geeignet zu qualitativen Untersuchungen.

5. Im Gegensatz dazu liefert das Festhalten der von den Tieren abgeſchiedenen Wasserdampfenthaltenden Luft durch wasserabsorbierende Substanzen eine wichtige und genaue Methode zum quantitativen Nachweis.

6. Ich bin aber fest überzeugt, dass bei quantitativen Bestimmungen die Wägung des Körpergewichts die einfachste und leichteste Methode ist, die immer genaue Resultate liefert.

Die Methode zum Nachweis der lokalen Wasserverdampfung soll in der nachstehenden Mitteilung besprochen werden.

### D. LITERATUR

- BENEDICT, F. G. u. BENEDICT, C. G. : Perspiratio insensibilis: Ihr Wesen und ihre Ursachen. *Biochem. Z.* CLXXXVI, 278-312 (1927).
- BURGERSTEIN, A.: Die Transpiration der Pflanzen. I, II, III. Jena (1904, '20, '25).
- BUXTON, P. A.: Evaporation from the Meal-worm (*Tenebrio*: Coleoptera) and atmospheric humidity. *Proc. roy. Soc. Lond. B.* CVI, 560-577 (1930).
- : The law governing the loss of water from an insect. *Proc. entom. Soc. Lond.* VI, 27-31 (1931).
- FREEMAN, G. F.: A method for the quantitative determination to transpiration in plants. *Botan. Gaz.* XLVI, 118-129 (1908).

- GALEOTTI, G. u. SIGNORELLI, E.: Ueber die Wasserbilanz während der Ruhe und bei der Anstrengung im Hochgebirge, Biochem. Z. XLI, 268-286 (1912).
- KAWASE, S.: Studien über die Atmung von *Bombyx mori* L. Nōgaku-Kaihō (Ber. landw. Geselles. Japan). CLXXXV, 26-69 (1918 in Japanisch).
- KÜNKEL, K.: Zur Biologie der Lungenschnecken. Heidelberg (1916).
- MAXIMOV, N. A.: The plant in relation to water. Transl. in English by R. H. Yapp. London (1929).
- RUBNER, M.: Die Beziehungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zur Wasserdampfabgabe. Arch. Hyg. XI, 137-242 (1890).
- SHELFORD, V. E.: The reactions of certain animals to gradients of evaporating power of air. A study in experimental ecology. Biol. Bull. XXV, 79-120 (1913).
- : The importance of the measure of evaporation in economic study of insects. J. econ. Entom. VII, 229-233 (1914).
- : Laboratory and field ecology. Baltimore (1929).
- WEYRICH, V.: Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut. Leipzig (1862).



## II. MITTEILUNG :

### TRANSPIRATIONSGRÖSSE AN VERSCHIEDENEN STELLEN DES INSEKTENKÖRPERS

Kiyooki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 21, 1933)

#### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung... ..	21
B. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	23
I. Untersuchungen über zwei Haupttranspirationsstellen	23
a. Versuche mit Bombyxpuppen ... ..	24
b. Versuche mit <i>Gastrimargus transversus</i> THUNBERG	27
II. Transpirationsgrösse an verschiedenen Hautbezirken	30
a. Versuche mit <i>Gastrimargus transversus</i> THUNBERG	31
b. Versuche mit Bombyxpuppen ... ..	33
C. Betrachtungen über den Mechanismus der spirakulären und kutikulären Transpiration ... ..	35
D. Zusammenfassung... ..	38
E. Literatur ... ..	39

#### A. EINLEITUNG

Die vorliegende Mitteilung behandelt Versuche, deren Zweck war, festzustellen, aus welchen Teilen des Körpers der Insekten Wasserdampf abgegeben wird, und ferner, wie sich verschiedene Körperstellen betreffs der ausgeschiedenen Wasserdampfmenngen verhalten.

Diese Probleme sind sowohl bei höheren Tieren als bei Pflanzen früher von verschiedenen Autoren wiederholt untersucht worden, darum

verfügen wir über zahlreiche Angaben darüber. Wir haben aber nur ganz mangelhafte Kenntnisse in dieser Beziehung über die Insekten und andere niedere Tierformen, wenn wir von einigen spekulativen Erörterungen absehen, denen jede experimentelle Grundlage fehlt.

Dass die ausgeatmete Luft der Menschen oder der höheren Tiere ausser reichlicher Kohlensäure noch grosse Mengen Wasserdampf enthält, ist eine bekannte Tatsache. Nach GALEOTTI (1912) oder LOEWY und GERHARTZ (1912) z. B. ist die Ausatemluft der Menschen bei ruhigem Atemholen mit Wasserdampf fast gesättigt. KRÜGER (1926) gibt einfache Mittel zum Nachweis der Wasserabgabe durch die Lunge an. "Man hauche gegen eine kalte Scheibe, sie beschlägt, oder nimmt man Fliesspapier, das mit 5%igem  $\text{CoCl}_2$  getränkt und scharf getrocknet ist, so färbt sich dieses rot."

Es ist ebenfalls eine längst bekannte Tatsache, dass die Haut des Menschen und der höheren Tiere auch dauernd Wasser in gasförmigem Zustande ausscheidet. Dies ist bezeichnet worden als "Perspiratio insensibilis" (Insensible Perspiration) oder besonders von WEYRICH (1862) als "Unmerkliche Wasserverdunstung". Dabei handelt es sich um eine rein physikalische Wasserdampfabgabe, um eine Wasserdampfdiffusion durch die Epidermis hindurch, die Schweissdrüsen sind daran nicht beteiligt.

Nach der alten, aber sehr ausführlichen Monographie Weyrichs, betitelt "Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut" erscheint die Ausscheidung, die man mit dem allgemeinen Namen der Hautausdünstung oder "Perspiratio cutanea" bezeichnet, in zwei Formen: als dunstförmige unsichtbare Ausdünstung, Hautausdunst, Perspiratio insensibilis, und als tropfbar flüssiger Schweiss, Sudor; der Hautdunst steigt ununterbrochen zu jeder Zeit von der Oberfläche der Haut auf, der Schweiss erscheint nur von Zeit zu Zeit in kleineren oder grösseren Tropfen.

Diese insensible Perspiration ist leicht nachweisbar z. B. durch folgende Probe:

Bei einem in der Kammer eines Respirationsapparates sich befindenden Menschen oder Tiere wird der Lungengaswechsel durch ein

Mundstück und eine daran anschliessende Rohrleitung nach aussen abgeleitet, sodass mit der Luft des Respirationsapparates nur die Haut des Versuchsobjekts in Verbindung steht. Die Analyse der Kammerluft wird dann die Menge des allein durch die Haut abgeschiedenen Wasserdampfes angeben.

Es fragt sich nun, wodurch wird der Wasserdampf bei niederen Tieren, speziell bei Insekten ausgeschieden?

Allgemeine Studien über die Transpiration der Insekten fehlen bis jetzt fast gänzlich. Neuerdings nimmt BUXTON (1930) an, dass bei Larven von *Tenebrio*, einer Koleoptere, Wasser durch die Stigmenöffnungen abgegeben wird. OKAWA (1926) teilte einen einfachen Versuch mit, in dem er 6 Paare Stigmenöffnungen bei Seidenraupen luftdicht mit einer Chloroformlösung von Guttapercha verschloss. Dabei fand er, dass auch wenn alle Öffnungen geschlossen waren, die Raupen ziemlich grosse Mengen Wasser abgeben konnten, woraus er den Schluss zog, dass die Haut der Raupen für Wasserdampf durchlässig war.

Ähnliches nimmt KÜNKEL (1916) bei Pulmonaten in seiner Abhandlung "Zur Biologie der Lungenschnecken," und auch bei Reptilien BENEDICT (1932) in seiner Monographie "The physiology of large reptiles" an.

## B. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

### I. Untersuchungen über zwei Haupttranspirationsstellen

Bei Insekten müssen zwei Haupttranspirationsstellen unterschieden werden, nämlich die äusseren Öffnungen der Atmungsorgane und die Hautoberfläche.

Der Atmungsapparat der Insekten besteht aus Luftkanälen (Tracheen), die an der Oberfläche des Körpers mit segmental angeordneten Öffnungen (Stigmen oder Spirakulen) ihren Ursprung nehmen und andererseits sich in immer feiner werdende Zweige (Tracheolen) auflösen, die alle Organe des Körpers durchziehen. Die Stigmenöffnungen der Insekten korrespondieren mit dem Mund oder der



Nase der Menschen oder der höheren Tiere. Daher muss an erster Stelle die Transpiration durch die Stigmenöffnungen in Betracht gezogen werden.

Da der Wasseraustritt aus den Epidermiszellen, der in der Botanik als epidermoidale oder kutikuläre Transpiration bezeichnet wird, bei Pflanzen und auch bei höheren Tieren eine bedeutende Rolle spielt, verdient er auch zum Gegenstand der Studien bei Insekten gemacht zu werden, obgleich es allerdings scheint, als ob gerade die Insektenkutikula in erster Linie die Aufgabe hätte, die Abgabe bzw. Aufnahme von Wasser oder anderen Stoffen infolge ihrer Undurchlässigkeit zu verhindern.

Aus einigen im folgenden zu beschreibenden Versuchen gelangte ich zu dem Schluss, dass die Insekten, im Einklang mit den Befunden an höheren Tieren oder Pflanzen, Wasserdampf ebenfalls aus zwei Stellen, nämlich aus den Stigmenöffnungen und aus der Hautoberfläche, ausscheiden.

#### a. Versuche mit Bombyxpuppen

Zuerst wählte ich als Versuchsobjekt Insekten im Puppenstadium, weil in dieser Periode, in der weder Nahrungsaufnahme noch Verdauungsexkretion stattfindet, das Körpergewicht sich nur durch Respirationsgaswechsel und Wasserdampfaustritt verändert.

Vier Portionen Puppen von *Bombyx mori* L. (jede aus 5 Puppen bestehend) sind in einem bei konstanter Temperatur und Feuchtigkeit gehaltenen Hygrothermostat folgenden Versuchen unterworfen worden, wobei das Körpergewicht beim Versuchsanfang und nachher in bestimmten Zeitintervallen festgestellt wurde.

Portion A stellt einen Kontrollversuch dar; ihre Wasserdampfausscheidung geht normal vor sich. Hier wird die Grösse der totalen Transpiration gezeigt.

Bei Portion B sind alle Stigmenöffnungen der Puppen mit Vaseline geschlossen worden. Hier wurde die durch die Haut allein verdunstete Wassermenge, d.h., die kutikuläre Transpiration festgestellt.

Bei Portion C sind die Puppen auf der ganzen Hautoberfläche, die Stigmen ausgenommen, mit Vaseline eingerieben worden. Hier wurde die durch die Stigmenöffnungen abgegebene Wassermenge, d. h., die spirakuläre Transpiration festgestellt.

Bei Portion D sind die Puppen auf der ganzen Körperoberfläche mit Vaseline eingerieben worden. Dieser Versuch sollte zeigen, ob die eingeriebene Vaseline Schicht Wasserdampf durchlässt oder nicht.

Endlich wurde noch ein Versuch angestellt, um zu prüfen, ob das angewandte Vaseline selbst noch einiges Wasser enthält, auch nachdem es gekocht und im Exsiccator getrocknet wurde.

Die beiden letzten Versuche sind zur Beurteilung der Resultate sehr wichtig. Das Ergebnis ist aus folgender Tabelle zu ersehen.

Tabelle 1.

Transpirationsstellen des Körpers bei Bombyxpuppen: Temp. 30°C., Rel. Feucht. 53%.

Versuch	Anfangsgewicht g.	Gew.- Abnahme währ. 3 Std. mg.	Original- puppengew. g.	H <sub>2</sub> O-Dampf- Abgabe p. Kg. u. Std. g.	Gew.- Abnahme währ. 72 Std. mg.	H <sub>2</sub> O-Dampf- Abgabe p. Kg. u. Std. g.
A	6.4207	22.9	6.4207	1.189	383.3	0.849
B	7.4621	9.6	7.2304	0.443	133.3	0.266
C	7.3978	14.5	6.8193	0.670	217.3	0.442
D	6.4683	1.2	5.7169	—	30.3	—
E	0.5991	9	—	—	0	—

Die Tabelle zeigt, dass die ziemlich verbreitete Annahme, Vaseline-schichten mässiger Dicke seien für Wasserdampf undurchgängig, irrig ist, da das Gewicht der Puppen, bei welchen die ganze Körperoberfläche mit Vaseline von einiger Dicke eingerieben worden war, im Verlauf von 3 bzw. 72 Stunden abnahm; der Verlust war aber sehr gering. Diese Gelegenheit habe ich benutzt, um die Durchlässigkeit des Vaselins genau zu prüfen. Dieses Problem ist von grosser Bedeutung, denn bei solchen Versuchen wird meistens Vaseline verwendet.

Drei kleine Glaszylinder, alle von 45 mm. Höhe und 22 mm. Durchmesser, dienten zu diesem Versuche. Zylinder A, der 2 cc. destilliertes Wasser enthielt, wurde am freien oberen Ende mit einem Stück Gaze, die mit einer Vaselinschicht von etwa 1 mm. Dicke bedeckt wurde, luftdicht verschlossen.

Zylinder B wurde behandelt wie A, aber nicht vaseliniert.

Zylinder C wurde behandelt wie A, enthielt aber kein Wasser.

Die drei Zylinder blieben drei Stunden im Exsiccator, und ihr Gewicht wurde nach jeder Stunde festgestellt.

Tabelle 2.

Durchlässigkeit der Vaselinschicht von 1 mm. Dicke für Wasserdampf.

Versuch	Anfangsgewicht g.	Gew. Abnahme währ. 1 Std. mg.	Gew. Abnahme währ. 2 Std. mg.	Gew. Abnahme währ. 3 Std. mg.
A	9.4011	1.4	1.4	1.4
B	9.3166	14.7	23.5	33.1
C	8.4679	0	0	0

Aus dieser Tabelle können wir sehen, dass die sich durch 1 mm. dicke Vaselinschichten im Laufe von 3 Stunden befreiende Wasserdampfmenge nur 4.2% des aus freien Wasseroberflächen evaporierten Wasserdampfes beträgt. In meinem Versuche beträgt das während 3 bzw. 72 Stunden befreite Wasser aus auf der ganzen Oberfläche vaselinierten Puppen 5.2 bzw. 7.8% des Wassers der Kontrollpuppen. Ich glaube, dass diese Fehlerquellen auf die Ergebnisse der Experimente keinen nennenswerten Einfluss haben.

Wenden wir uns wieder der Betrachtung der Transpirationsstellen zu. Auf den ersten Blick geht aus Tabelle 1 hervor, dass Bombyxpuppen Wasserdampf nicht nur durch Stigmenöffnung, sondern auch durch die Hautoberfläche transpirieren. Durch diese Versuche ist die allgemein verbreitete Auffassung, dass bei Insekten die Stigmenöffnungen die hauptsächlichen Transpirationsstellen seien, widerlegt. Meine Ergebnisse zeigen, dass die Oberfläche der Chitinhaut sich an diesem Vorgang in sehr hohem Grade beteiligt. In dreistündigen

Versuchen verdampften pro 1 kg. Gewicht in je einer Stunde 0.670 g. Wasser durch alle Stigmenöffnungen und 0.443 g. durch die Hautoberfläche; das durch die Haut in drei Stunden abgegebene Wasser macht also 66% des durch die Stigmenöffnungen abgegebenen aus. Nach 72 Stunden betrug dieser Wert etwa 60%.

#### b. Versuche mit *Gastrimargus transversus* THUNBERG

Bei der Untersuchung von Acrididen versuchte ich, das quantitative Verhältnis zwischen der Wasserdampfabgabe durch Stigmen und derjenigen durch die Hautoberfläche festzustellen. Ausserdem wollte ich untersuchen, ob zwischen den verschiedenen Stigmenpaaren irgendwelche Unterschiede betreffs der Transpiration bestehen.

Es gibt zwei Ansichten in Bezug auf das Problem des Vorhandenseins eines gerichteten Atemstromes in den Tracheen der Orthopteren. Die eine ist positiv und behauptet, dass die Luft sich in den Tracheen in einer bestimmten Richtung bewege, denn Öffnung und Schliessung erfolgen keinesfalls gleichzeitig bei verschiedenen Stigmenpaaren. Untersuchungen von RATHKE (1861), VON BUDDENBROCK und VON ROHR (1922), DU BUISSON (1924 u. 1926), LEE (1925 u. 1927), MC ARTHUR (1929), MCGOVAN (1931) und FRAENKEL (1932) unterstützen diese Theorie. Ihre Detailergebnisse sind aber etwas verschieden je nach den Forschern wie auch nach den Versuchsobjekten. Im Gegensatz zu dieser steht die entgegengesetzte Ansicht, die sich auf die Versuchsergebnisse stützt, dass alle Stigmen gleichzeitig der Ein- und Ausatmung dienen. HAZELHOFF (1927), DEMOLL (1927 u. '28) und MCKAY (1927) vertreten diese Auffassung.

Daher war es von Interesse, Nachforschungen über die Unterschiede der Stigmen bei der Wasserdampfabgabe anzustellen. Nach LEE z.B. tritt die Luft durch die vier vorderen Stigmen (2 Paare thorakaler und 2 Paare vorderer abdominaler Stigmen) ein und durch die sechs hinteren Stigmenpaare heraus. Ich habe einige Versuche angestellt, um festzustellen, ob das Gleiche auch für die Wasserdampfausscheidung der Orthopteren gilt.

Ich nahm vier Geradflügler (*Gastrimargus transversus* THUNBERG). Einer war normal (A), der zweite (B) war auf allen Stigmenöffnungen mit Vaseline eingerieben, der dritte (C) auf den hinteren sechs Stigmenpaaren vaselinisiert und der vierte (D) auf den vorderen vier Paaren. Die Wasserdampfabgabe von jedem dieser vier Insekten wurde danach mit Hilfe des Durchführungsapparates der Versuchsluft bestimmt, wie in der vorhergehenden Mitteilung (s. Abb. 1 meiner ersten Mitteilung) dargestellt wurde. Die Daten sind in nachstehender Tabelle angegeben.

Tabelle 3.

Transpirationsstellen des Körpers von *Gastrimargus transversus*: Temp. 32°C., Rel. Feucht. 45%.

Versuch	Körpergewicht g.	H <sub>2</sub> O-Dampfabgabe p. 1 Std. mg.	H <sub>2</sub> O-Dampfabgabe p. Kg. u. Std. g.
A	1.3336	36.8	27.594
B	2.5425	20.3	7.984
C	2.2730	44.5	19.577
D	1.7942	26.6	14.825

Aus der oberen Tabelle geht in Übereinstimmung mit dem Ergebnis der Versuche an Bombyxpuppen sehr deutlich hervor, dass auch bei Orthopteren die Transpiration auf zwei Wegen stattfindet, nämlich durch Stigmenöffnungen und Hautoberfläche. Wenn wir von dem transpirierten Wasserdampf des Normaltieres A die vom Tier B mit sämtlichen geschlossenen Stigmen abgegebene Wassermenge subtrahieren, erhalten wir den durch die Öffnungen aller Stigmen transpirierten Wasserdampf:

$$A - B = 27.594 - 7.984 = 19.610 \text{ g.}$$

Diese Quantität ist ungefähr 2.4 mal so gross wie die Hautausdünstung.

Der bei dem Tier C ermittelte Wert zeigt die Menge des durch die vorderen 4 Paare Stigmen transpirierten Wasserdampfes, vermehrt um die gesamte Hautausdünstung, und der am Tier D gewonnene

Wert muss der Menge des aus den hinteren Stigmenpaaren heraus tretenden Dampfes vermehrt um die Hautausdünstung entsprechen.

$$C - B = 19.577 - 7.984 = 11.593 \text{ g.}$$

Die gefundene Grösse 11.593 g. entspricht der Menge des durch die vorderen 4 Stigmenpaare, die von LEE als Inspirationsstigmen aufgefasset werden, verlorenen Wasserdampfes.

Die Differenz

$$D - B = 14.825 - 7.984 = 6.941 \text{ g.}$$

stellt wiederum annähernd die von den 6 hinteren Paaren abgeschiedene Wassermenge dar, die von LEE als Expirationsstigmen bezeichnet werden.

Dieses Ergebnis steht ohne Zweifel im Widerspruch mit Lee's Auffassung, da die Transpiration zugleich mit der Ausatmung stattfindet, wie schon für Menschen und höhere Tiere nachgewiesen worden ist. In der Tat ist die Transpiration durch die vorderen 4 Stigmen sehr lebhaft, und zwar ungefähr zweimal so gross wie die aus den hinteren 6 Stigmen.

Diese Tatsache konnte ich noch durch einen Versuch mittels der Kollodiummethode (vgl. I. Mitt.) stützen. Tragen wir eine Lösung von Kollodium in Äther auf die Öffnungen der Stigmen in dünner Schicht auf, so verdunstet der Äther in einem Augenblick, und es bleibt ein farbloses, ungefähr durchsichtiges Häutchen übrig. Aus der Geschwindigkeit der Weissverfärbung dieses Häutchens können wir die relative Grösse der Wasserdampfausscheidung durch verschiedene Stigmenöffnungen feststellen. Bei dem Auftragen von Kollodium auf die Stigmen erhebt sich der Zweifel, ob das Lösungsmittel nicht vielleicht ihre Schliessung fördere. Dies war aber nicht der Fall, wenigstens nicht bei den von mir gebrauchten kleinen Tröpfchen, weil ich eine ununterbrochene Blasenauferwerfung von Kohlensäure aus jeder Öffnung beobachten konnte, und weil vor allem auch die Klappenbewegung bei allen thorakalen Stigmen fort dauerte, bis der Äther vollkommen evaporiert und das Häutchen gebildet war.

Mit der Trübung des auf jedem Paar der vorderen 4 Stigmen gebildeten Kollodiumhäutchens tritt die Weissfärbung in ganz kurzer

Zeit, etwa in 1–1.5 Minuten, ein. Diese Erscheinung ist am ausgeprägtesten bei dem zweiten thorakalen Stigmenpaar. Im Gegensatz dazu geht die Trübung bei den abdominalen 6 Paaren sehr langsam vor sich und die Verfärbungsintensität ist so undeutlich, dass sie in manchen Stigmen ohne aufmerksame Beobachtung mit der Lupe nicht nachgewiesen werden kann.

Aus diesen beiden Versuchen geht ohne weiteres hervor, dass auch bei diesen Insekten Wasserdampf durch alle Stigmenöffnungen ausgeschieden wird, und ausserdem, dass dieser Vorgang bei den vier vorderen Paaren lebhafter ist als bei den sechs hinteren. Diese Verhältnisse stimmen durchaus damit überein, was HAZELHOFF, DEMOLL und MCKAY für den respiratorischen Gaswechsel gefunden haben, und steht im Widerspruch mit der Auffassung von LEE und anderen Forschern. Dass Lee's Meinung, dass nur durch die hinteren 6 Stigmenpaare  $\text{CO}_2$  abgegeben wird, falsch ist, wenigstens für das von mir beobachtete Objekt, ist ohne weiteres daraus ersichtlich, dass wir kontinuierliche Blasenauferwerfung von Kohlendioxyd, die die durchsichtigen, noch nicht trockenen Kollodiumtropfen weder trübt noch verfärbt, nicht nur bei den hinteren 6, sondern auch bei den vorderen 4 Paaren feststellen können. Ferner sind die 4 vorderen Stigmen während der Ausatmung, und die 6 hinteren während der Einatmung sicherlich nicht geschlossen, wie HAZELHOFF und andere berichten. Das kann man auch beobachten, wenn man einen Geradflügler unter Wasser bringt und das Ausstossen und Einsaugen der Luftblasen verfolgt.

## 11. Transpirationsgrösse an verschiedenen Hautbezirken

Es ist seit langem allgemein anerkannt worden, dass kein Austausch von flüssigen oder gasförmigen Stoffen durch die Chitindecke der Arthropodencuticula oder -intima stattfindet, infolge der grossen Widerstandsfähigkeit des Chitins gegen chemische Einwirkungen, seiner beträchtlichen Dicke, Dichte und Härte, und auch weil Porenstrukturen an den in Frage kommenden Stellen gänzlich fehlen.

Aber diese Auffassung ist nicht unbedingt richtig, da sehr oft und wiederholt experimentell nachgewiesen worden ist, dass sowohl das Cuticula- als auch das Intimachitin der Insekten für verschiedene Gase und Flüssigkeiten permeabel sind. Wir haben auch aus der oben erwähnten Untersuchung gelernt, dass Insekten stets durch ihre Chitinhaut Wasserdampf durchlassen können.

Nach GALEOTTI und MACRI (1914) variiert die Perspiratio cutanea bei Menschen in den verschiedenen Körpergegenden ein und desselben Individuums. Am grössten ist sie an den Handflächen, etwas geringer auf Hals und Wangen, noch geringer auf Brust und Rücken. Zwischen der Grösse der Hautverdunstung und der Anzahl der Schweissdrüsen besteht, einige Körperstellen ausgenommen, keine Übereinstimmung, sodass die Hypothese, dass das aus der Epidermis verdunstende Wasser ausschliesslich von den Schweissdrüsen her Stamme, nicht unbedingt gelten kann. Es muss vielmehr angenommen werden, dass auch durch die Hautschichten der menschlichen Epidermis gewisse Mengen von Wasserdampf hindurchgehen. Im folgenden will ich darüber berichten, aus welchen Teilen der Hautoberfläche die Wasserdampfabgabe stattfindet, und an welchen Stellen dieser Vorgang am deutlichsten ist.

#### a. Versuche mit *Gastrimargus transversus* THUNBERG

Mit Hilfe der Kollodiumhäutchen-Methode konnte ich merkbare Unterschiede in der lokalen Transpirationsgrösse an verschiedenen Stellen der Hautoberfläche von *Gastrimargus transversus* feststellen. In der nachstehenden Tabelle sind die Hautbezirke, wo das trockene Kollodiumhäutchen sich trübt und weisslich verfärbt, mit + bzw. ++ (wenn die Erscheinung sehr deutlich ist) bezeichnet, mit - die Stellen, wo das Häutchen unverändert bleibt in seiner Transparenz.

Aus der Betrachtung dieser Tabelle ergibt sich Folgendes: Die Transpiration der Orthopterenhaut beschränkt sich auf die vorderen Teile des Körpers, die zarten dünnen Intersegmentalmembranen des Abdomens ausgenommen. Besonders lebhaft ist sie in



Tabelle 4.

Trübungsfähigkeit des Kollodiumhäutchens an verschiedenen Stellen  
der Hautoberfläche von *Gastrimargus transversus*.

Hautbezirke			Reak- tion	Hautbezirke			Reak- tion
Kopf		Vertex	++	Vorder- flügeln	Costalfeld		—
		Frons	+		Medianfeld		—
		Clipeus	+		Analfeld		—
		Occiput	++	Abdomen	Tympanalorgane		+
		Genae	—				
		Gula	—		Tergum II		—
		Facettenaugen	—		„ III		—
		Ocellen	—		„ IV		—
		Labrum	—		„ V		—
		Mandibeln	—		„ VI		—
		Labium	—		„ VII		—
		Antennen	—		„ VIII		—
					„ IX		—
					„ X		—
					„ XI		—
Hals			+		Sternum II		—
Thorax	Protergum	Scutum	++		„ III		—
		Scutellum	++		„ IV		—
	Prosternum		—		„ V		—
			—		„ VI		—
	Mesopleuron	Episternum	+		„ VII		—
		Epimeron	+		„ VIII		—
	Mesosternum		—		„ IX		—
			—		„ X		—
	Metapleuron	Episternum	+		„ XI		—
		Epimeron	+		„ XII		—
Thoracal- beine	Metasternum		—		„ XIII		—
			—		„ XIV		—
			—		„ XV		—
			—		„ XVI		—
	Vorderbeine	Coxa	—		„ XVII		—
		Femur	—		„ XVIII		—
		Tibia	—		„ XIX		—
		Tarsus	—		„ XX		—
	Mittelbeine	Coxa	—		„ XXI		—
		Femur	—		„ XXII		—
		Tibia	—		„ XXIII		—
		Tarsus	—		„ XXIV		—
	Hinterbeine	Coxa	—		„ XXV		—
		Femur	—		„ XXVI		—
		Tibia	—		„ XXVII		—
		Tarsus	—		„ XXVIII		—

Vertex und Occiput des Kopfes sowie am Proscutum und Proscutellum der Brust, und ist auch an den auslassenden Organen, wie Clipeus, Frons, Episternum und Epimeron mehr oder weniger nachweisbar, während durch die Haut sämtlicher Extremitäten kein Wasserdampf abgegeben wird. Der Befund, dass die Wasserdampfausscheidung der Orthopterenhaut sich in der Hauptsache auf die vorderen Körperteile beschränkt, steht in interessanter Beziehung zu der im vorigen Abschnitt mitgeteilten Tatsache, dass die Wasserabgabe bei derselben Spezies aus den vorderen Stigmen viel lebhafter vor sich geht als aus den hinteren. Diesen Unterschied in der Transpirationsgrösse kann ich vorläufig nicht erklären.

#### b. Versuche mit Bombyxpuppen

Bei Bombyxpuppen handelt es sich um die Variation der Wasserdurchlässigkeit der Haut je nach deren Dicke.

Über die Durchlässigkeit von gasförmigen oder flüssigen Substanzen durch die dünne Chitinmembran der Insekten besitzen wir heute eine grössere Anzahl experimenteller Arbeiten. Perzeption der chemischen Reize wie Geschmack oder Geruch wird durch die dünne Chitinmembran, die die betreffenden Sinnesorgane bedeckt, vermittelt. Nach VOGEL (1921) ist die das antennale Geruchsorgan der Wespe bedeckende Chitinmembran sehr dünn, nämlich nur  $0.5\ \mu$  dick. EIDMANN (1922) prüfte auf experimentellem Wege die Permeabilität der Chitinintima im Vorderdarm und Enddarm der Küchenschabe, *Periplaneta orientalis*, für verschiedene flüssige Stoffe. Es zeigte sich, dass die Wand des Enddarmes, die eine dünnere Chitinintima hat, die Stoffe viel schneller und leichter durchgehen lässt als die des Kropfes, deren Intima dicker ist. Die Geschwindigkeit des Diffundierens betrug bei der Kropfwand mit einer  $5-8\ \mu$  dicken Chitinintima für einige Säuren etwa eine Stunde und für einige Alkalien etwa 24 Stunden, während die  $2\ \mu$  dicke Intima des Enddarmes in so erstaunlich kurzer Zeit wie 15 Minuten für Säuren und 10 Minuten für Alkalien permeabel war. Die Atmung ist auch lebhafter durch die

dünnere Chitinhäute der Tracheen- und Blutkiemenwände oder die gesamte Hautoberfläche der jungen Larven unmittelbar nach der Ausschlüpfung aus den Eiern.

In unserem Falle ist auch die Wasserausdünstung schneller, d.h. die evaporierte Wassermenge pro Zeiteinheit grösser durch eine dünne Cuticula oder Intima als durch eine dicke.

Bei allen jenen Insekten, bei denen die Pigmentschicht (primary cuticula der englischen Autoren) der Cuticula normal ausgebildet ist, nimmt mit der Pigmentierung die Dicke der Pigmentschicht in der Nähe der Segmentalgrenze\* stark ab.

Bei drei Tage alten Bombyxpuppen nach der Verpuppung ist die Pigmentschicht der einzelnen Skelettplatten etwa  $5.3 \mu$  dick, während sie bei der Intersegmentalhaut nur  $2.5 \mu$  dick ist.

Die Trübungsgeschwindigkeit des trockenen Kollodiumhäutchens durch den perspirierten Wasserdampf ist grösser an der Intersegmentalhaut wie die nachstehende Tabelle zeigt.

Tabelle 5.

Trübungsgeschwindigkeit des Kollodiumhäutchens an drei Stellen des Körpers von Bombyxpuppen.

An	Geschwindigkeit Sek.
Intersegmentalhaut	17.4
Intrasegmentalhaut	28.8
Stigmenöffnung	25.0
Glasplatte	kein Trübung

Die verhältnismässig langsame Verfärbung des auf die Stigmenöffnungen aufgetragenen Häutchens (Mittelwert von vielen Stigmen) durch die eine sehr lebhaft Transpiration stattfinden muss, ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass das Tracheenrohr sich infolge des Reizes des als Lösungsmittel angewandten Äthers in der Nähe

\* Nach KÜHNELT (1928) ist bei weichhäutigen Insektenlarven wie Fliegenlarven oder Engerlingen kein wesentlicher Unterschied zwischen den einzelnen Skelettplatten und den Intersegmentalhäuten zu erkennen.

der Stigmenöffnungen mehr oder weniger schliesst. Für die oben geschilderte umgekehrte Korrelation zwischen Perspiration und Dicke der Hautcuticula wird in einer nachstehenden Mitteilung ein weiterer Beweis geliefert werden (s. "Transpiration während der Häutungszeiten").

### C. BETRACHTUNGEN ÜBER DEN MECHANISMUS DER SPIRAKULÄREN UND KUTIKULÄREN TRANSPIRATION

Für das Verständnis des Prinzips des Atmungsgasaustausches zwischen Aussenluft und innerem Gewebe oder Blut ist es wichtig, dass die Lumenoberfläche der Atmungsorgane, wie z. B. Lunge, Kiemen oder Tracheen, mit eigener Flüssigkeit nass ist. JORDAN (1929) erwähnt, dass der nasse Zustand der Hautoberfläche bei Regenwürmern den respiratorischen Gaswechsel zwischen Aussenluft und dem unter der Haut strömenden Blut erleichtert. Dass der unmittelbare Gasaustausch durch trockene Haut sehr schwierig ist, wird leicht verständlich aus der Tatsache, dass die Hautatmung nur bei Tieren mit nasser Haut, wie Wasser- oder Hygrophiln, lebhaft ist. Dasselbe gilt auch für die komplizierten Respirationsorgane, die alle nichts anderes sind als Hautteile, die mit der Aussenumgebung in Berührung stehen.

Die innere Wand der Tracheen und ihrer verzweigten Ästchen, zwischen der und der Hämolymphe bzw. dem Zellsaft der Atemgas-ein- und -austritt stattfindet, können wir uns in Analogie mit dem Regenwurm als eine mit Wasser getränkte Hautschicht vorstellen. Die Tatsache der bedeutenden Wasserabgabe durch die Stigmenöffnungen und auch die Beobachtungen von HAZELHOFF bei vielen Insekten und Pulmonaten\*, denen zufolge diese Tiere einen Anpassungsmechanismus besitzen, um übermässigen Wasserverlust durch die Stigmen zu verhindern, sprechen für die Richtigkeit dieser Annahme. Wahrscheinlich sind, ähnlich wie bei vielen anderen

\* Dies ist auch meine Erfahrung, wie weiter in einer nachstehenden Mitteilung gezeigt werden soll.

Luftatmern, die Tracheen bzw. das Tracheenlumen der Insekten mit Wasserdampf gesättigt und das Atmungsepithel stets von einer Flüssigkeit getränkt. Wenn es sich so verhält, dann bedarf der Vorgang der Wasserdampfausscheidung durch die Öffnung der Stigmen keiner weiteren ausführlichen Erklärung. Die in die Tracheen bei der Einatmung eindringende Luft sucht sich in Bezug auf den Wasserdampfgehalt mit der feuchten Lumenluft der Atmungsorgane auszugleichen, sobald sie mit der letzteren in Berührung kommt. Dann geht sie durch die Öffnung der Stigmen heraus, eine grössere Menge von Wasser enthaltend als beim Eindringen. Da die Wasserdampfspannung innerhalb der Tracheen sowie der nasse Zustand der Tracheenwand von dem zwischen Gewebe und Tracheen herrschenden Gleichgewicht abhängen, ist die Menge des nach aussen abgegebenen Wassers immer grösser, wenn die eingetretene Luft trockener war, als bei feuchtem Zustand der eingeatmeten Luft.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Durchlässigkeit der Tracheen bzw. der Tracheolenwände für Wasserdampf über.

Es ist wahrscheinlich, dass die zwischen den Umgängen der Spiralfalte befindlichen dünnwandigen Tracheenstämme Wasserdampf durchlassen und direkt aus dem Blut aufnehmen, denn die Durchlässigkeit für Gase wurde experimentell sogar für die viel dickere Cuticula einiger Insekten nachgewiesen, wie sich aus folgendem Experiment von DEWITZ ergibt. DEWITZ (1890) hat nachgewiesen, dass dicke Chitinhäute Gase durchlassen können. Er band ein Hautstück der Raupe von *Smerinthus ocellata* L. über das offene Ende eines am anderen Ende zugeschmolzenen Glasrohres und tauchte dieses in einen mit Kohlensäure gefüllten Zylinder hinein. Nach einigen Stunden wölbte sich die Chitinhaut infolge des Hineindiffundierens der Kohlensäure stark nach aussen. Wurde umgekehrt die Röhre mit Kohlensäure gefüllt, so trat durch Herausdiffundieren der letzteren in die Luft eine Einziehung der Chitinhaut ein. So haben wir Grund genug anzunehmen, dass solche Tracheenwand, trotzdem die innere Fläche mit dicker Chitintima ausgekleidet ist, Wasserdampf durchlassen kann, geschweige denn die sehr dünnwandigen

Tracheolenwände, verzweigten Ästchen der Tracheen, deren innere Fläche von keiner Chitinintima bedeckt ist.

Auch durch die Dewitz'sche Untersuchung erscheint die Durchgängigkeit des Wasserdampfes durch die Hautcuticula der Insekten wahrscheinlich.

Natürlich ist im allgemeinen die Haut der Insekten mit einer dicken harten Cuticula aus Chitin überzogen, und dieser Chitinpanzer dient nicht nur zum Schutze des Körpers, sondern, ähnlich wie die Innenskelette der Wirbeltiere, auch zum Ansatz der Muskulatur des Körperstammes und der Extremitäten. Der Zweck der Schutzeinrichtungen durch derartige starke Verdickung und Kutikularisierung der äusseren Epidermiswände ist die Isolierung des Körpers gegen die Aussenumgebung. Es wird z. B. durch diese Einrichtung sowohl das Eindringen von giftigen Substanzen von aussen als auch der Verlust von Eigensubstanzen verhindert, vor allem aber wird die Gefahr eines übermässigen Wasserverlustes beseitigt.

Dass die Undurchlässigkeit der Chitincuticula nur relativ ist, habe ich oben betont. Viele Beispiele aus dem Gebiete der Atmung und der Exkretion durch die Insektenhaut sind von DEEGENER (1929) bzw. EHRENBURG (1929) angeführt worden. Auch die Versuche von EIDMANN (1923) zeigen die Resorptionsfähigkeit der Nahrungsstoffe durch die Haut der Vorder- und Enddärme der Küchenschabe.

Betreffs des Mechanismus dieser kutikulären Transpiration kann man mit grösster Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die Erscheinung ein gewöhnlicher physikalischer Diffusionsvorgang ist, da wir an der Insektenhaut keine speziellen sekretorischen Wasserausscheidungseinrichtungen wie Poren oder Drüsen finden. Die Resultate meiner später zu veröffentlichenden Untersuchungen über die physikalischen Komponenten der tierischen Transpiration zeigen, dass die kutikuläre Transpiration ein passiver physikalischer Vorgang ist, und dass das Nervensystem sich daran nicht beteiligt.

Die Tatsache, dass die Wasserdampfausscheidung bei Insekten nicht bloss durch die Stigmenöffnungen, sondern auch durch die Hautoberfläche stattfindet, stimmt durchaus damit überein, was für

diesen Vorgang bei Menschen, höheren Tieren und Pflanzen gefunden wurde. Für die zweierlei Arten des Wasserdampfaustrittes, einerseits aus den Epidermiszellen, andererseits aus den Stigmenöffnungen, möchte ich die Bezeichnungen "kutikuläre oder epidermoidale" und "spirakuläre oder stigmatäre" Transpiration vorschlagen.

#### D. ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Wasserdampfausscheidung der Insekten findet nicht nur durch die Stigmenöffnungen, sondern auch durch die Hautoberfläche statt.

2. Die gesamte Wassermenge der stigmatären Transpiration beträgt immer mehr als die der kutikulären.

3. Alle Stigmenpaare beteiligen sich an der spirakulären Transpiration.

4. Bei den Imagines von *Gastrimargus transversus* THUNBERG wird Wasserdampf durch 4 vordere und 6 hintere Stigmenpaare abgegeben. Die Quantität des durch die vorderen Stigmen ausgeschiedenen Wasserdampfes beträgt ungefähr zweimal so viel wie die durch die hinteren Paare abgegebene. Dieses Verhältnis steht zweifellos im Widerspruch mit der Auffassung von LEE, dass bei der Atmung von Orthopteren die Luft durch die 4 vorderen Stigmenpaare eintritt und durch die 6 hinteren Paare austritt.

5. Bei Bombyxpuppen, vielleicht auch bei anderen Puppen oder Larven, die verhältnismässig gleichmässig mit nicht so harter und dicker Cuticula bekleidet sind, ferner selbstverständlich bei weichhäutigen Insekten, findet kutikuläre Transpiration durch die ganze Hautoberfläche statt.

6. Aber bei Insekten wie Orthopteren variiert die Hautausdünstung in den verschiedenen Körpergegenden eines und desselben Individuums. Am grössten ist sie am Scheitel und Hinterhaupt, sowie Scutum und Scutellum des Prothorax, etwas geringer an Stirn und Clipeus, Episternum und Epimeron von Meso- und Metathorax und an abdominalen Intersegmentalmembranen. Die übrigen

Hautbezirke beteiligen sich nicht an dem Vorgang. An Intersegmentalhäuten, wo die Cuticula dünn ist, ist die Transpirationsgeschwindigkeit weitaus grösser als an gewöhnlichen Intrasegmentalhäuten.

7. Über den Mechanismus der beiderlei Transpirationsarten habe ich keine direkten Untersuchungen angestellt, aber aus vielen indirekten Beweisführungen können wir wohl mit grösster Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die spirakuläre Wasserdampfscheidung zugleich mit der Ausatmung stattfindet. Die bei der Einatmung in die Respirationsorgane eingedrungene Luft sucht sich in Bezug auf den Wasserdampfgehalt mit der feuchten Lumenluft auszugleichen, sobald sie mit der letzteren in Berührung kommt. Die kutikuläre Transpiration ist ein rein physikalischer Diffusionsvorgang, bei welchem sich das Nervensystem nicht beteiligt.

8. Zuletzt muss noch hinzugefügt werden, dass die Undurchlässigkeit der Arthropodencuticula für gasförmige oder flüssige Substanzen nicht so absolut ist, wie man vielleicht von vornherein anzunehmen geneigt wäre.

## E. LITERATUR

- BENEDICT, F. G.: The physiology of large reptiles. Publ. Carnegie Inst. Washington (1932).
- v. BUDDENBROCK, W. u. v. ROHR, G.: Die Atmung von *Dixippus morosus*. Z. allg. Physiol. XX, 111-160 (1923).
- DU BUISSON, M.: Observations sur la ventilation trachéenne des insectes. Bull. Acad. roy. Belg. X, 373-391 (1924) u. XII, 127-138 (1926).
- BUXTON, P. A.: Evaporation from the meal-worm (*Tenebrio*: Coleoptera) and atmospheric humidity. Proc. roy. Soc. Lond. B. CVI, 560-577 (1930).
- DEMOLL, R.: Untersuchungen über die Atmung der Insekten. Z. Biol. LXXXVI. 45-66 (1927) u. Zool. Jahrb. Physiol. XLV, 513-534 (1928).
- DEWITZ, H.: Einige Beobachtungen, betreffend das geschlossene Tracheensystem bei Insektenlarven. Zool. Anz. XIII, 500-504 (1890).
- DEEGENER, P.: Respirationsorgane. in Schröder's Handb. d. Entom. I, 316-377 (1928).
- EIDMANN, H.: Die Durchlässigkeit des Chitins bei osmotischen Vorgängen. Biol. Zentralbl. XLII, 429-435 (1922).
- EHRENBERG, R.: Exkretion durch die Haut (Tracheaten). in Winterstein's Handb. d. vergl. Physiol. II (2), 738 (1924).
- FRAENKEL, G.: Untersuchungen über die Koordination von Reflexen und automatisch-nervösen Rhythmen bei Insekten. III. Das Problem des gerichteten



- Atemstromes in den Tracheen der Insekten. Z. vergl. Physiol. XLI, 418-443 (1932).
- GALEOTTI, G.: Ueber die Ausscheidung des Wassers bei der Atmung. Biochem. Z. XLVI, 173-185 (1912).
- GALEOTTI, G. u. MACRI, N. M.: Ueber die Perspiratio insensibilis unter normalen und pathologischen Bedingungen. Ebenda LVII. 472-482 (1914).
- HAZELHOFF, E. A. siehe JORDAN, H.: Die Regulierung der Atmung bei Insekten und Spinnen. Z. vergl. Physiol. V, 179-190 (1927).
- JORDAN, H.: Allgemeine vergleichende Physiologie der Tiere. Berlin u. Leipzig (1929).
- KRÜGER, P.: Tierphysiologische Übungen. Berlin. (1926).
- KÜHNELT, W.: Ueber den Bau des Insekten skelettes. Zool. Jahrb. Anat. u. Ont. Tiere. L. 219-278 (1928).
- KÜNKEL, K.: Zur Biologie der Lungenschnecken. Heidelberg (1916).
- LOEWY, A. u. GERHARTZ, H.: Ueber die Ausscheidung des Wassers bei der Atmung (Bemerkungen zu der gleichnamigen Arbeit von G. Galeotti). Biochem. Z. XLVII, 343-344 (1912).
- LEE, O. M.: On the mechanism of respiration in certain Orthoptera. J. exp. Zool. XLI, 125-154 (1925).
- : Respiration in the insects. Quart. Rev. Biol. IV, 213-232 (1929).
- MCGOVAN, E. R.: A method of measuring tracheal ventilation in insects and some results obtained with grasshoppers. Ann. entom. Soc. Amer. XXIV, 751-760 (1931).
- MCKAY, D. A.: Respiration of insects. Science LXV, 446 (1927).
- ÖKAWA, S.: Ueber die Körperoberfläche und Wasserverdunstung der Seidenraupen. Nat. Hyg. Japan. III, 1118-1129 (1926, in Japanisch).
- RATHKE, H.: Anatomisch-physiologische Untersuchungen über den Atemprozess der Insekten. Schr. physiol-oekol. Ges. Königsberg, I. (1861, zit. n. Fraenkel).
- VOGEL, R.: Zur Kenntnis der Geruchsorgane der Wespen und Bienen. Zool. Anz. LIII, 20-28 (1921).
- WEYRICH, V.: Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut. Leipzig (1862).

### III. MITTEILUNG :

## UEBER DIE PHYSIOLOGISCHEN KOMPONENTEN DER TIERISCHEN TRANSPARATION BEI INSEKTEN

(Mit 6 Textabbildungen)

Kiyooki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 21, 1933)

### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung ... ..	41
B. Untersuchungen und Ergebnisse ... ..	42
I. Beziehungen zwischen Körpergewicht und Transpiration ... ..	42
II. Beziehungen zwischen Entwicklung und Transpiration ... ..	49
III. Transpirationsverlauf während der Häutungsperioden ... ..	55
IV. Geschlechtsbedingte Unterschiede... ..	60
V. Transpiration bei Nahrungsaufnahme und Aus- hungerung ... ..	61
VI. Abhängigkeit der Transpiration von der Muskel- arbeit ... ..	67
VII. Beziehungen zwischen Wassergehalt und Transpiration ... ..	69
VIII. Transpirationsgrösse bei verschiedenen Insekten ...	73
C. Allgemeine Schlussfolgerungen ... ..	77
D. Literatur ... ..	78

### A. EINLEITUNG

Bei flüchtiger Betrachtung könnte es wohl scheinen, als ob die Wasserdampfabgabe lebender Wesen ein rein mechanischer Vorgang sei, ähnlich wie die Wasserverdunstung in der Physik. Eine derartig einfache Vorstellung hat sich aber längst als irrig erwiesen. Zahlreiche

Experimente, sowohl an höheren Warmblütern wie an höheren Pflanzen ausgeführt, haben gezeigt, dass die Transpiration zwar den allgemeinen physikalischen Gesetzen der Verdunstung folgt, zum Teil aber von Körperzuständen bzw. sich im Inneren des Körpers abspielenden Lebenstätigkeiten abhängig ist. Im Zusammenhang damit erweist sich der Transpirationsprozess in mancher Hinsicht als zweckmässig, wie auch alle anderen Lebensvorgänge. Mit Recht bemerkt RUBNER (1890) hierzu, dass die Frage der Wasserdampfausscheidung erst dann lösbar sein wird, wenn die Verhältnisse der Wärmeregulation nach allen Richtungen hin klargelegt worden sind. So fällt der Transpiration z. B. die Aufgabe zu, durch die erzeugte Verdunstungskälte eine zu starke Erhitzung der Organismen zu verhüten. Bei Pflanzen spielt sie eine wichtige Rolle bei dem Transport des rohen Nahrungssaftes von den Wurzeln zu den Blättern. Ferner können wir uns denken, dass sie eine Vorrichtung zur Regulierung des Wassergehaltes der Organismen darstellt. Es war zu erwarten, dass die Transpiration der Kaltblüter in ähnlicher Weise verläuft, d.h., dass die Wasserdampfabgabe bei niederen Tieren ebenso zum Teil von den Körperzuständen, zum Teil von den Umgebungsfaktoren bedingt wird.

Um diese Verhältnisse bei Insekten genau zu erforschen, habe ich eine Reihe von Versuchen ausgeführt, über die in vorliegender Mitteilung berichtet wird.

## B. UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE

### I. Beziehungen zwischen Körpergewicht und Transpiration

Die in jedem Falle gefundenen unmittelbaren Transpirationswerte geben die absoluten Transpirationsgrössen im Einzelexperiment an. Um die Resultate von verschiedenen Experimenten miteinander vergleichen zu können, muss ein gemeinsamer Massstab gefunden werden, auf den die festgestellten Werte umzurechnen sind.

In Bezug auf diese Reduktion gibt es ein bekanntes Gesetz von RUBNER, "das Oberflächengesetz". Nach diesem haben kleine Tiere

im Verhältnis zu ihrer Masse (Gewicht) einen lebhafteren Stoffwechsel als die grossen. Vergleicht man also eine Reihe systematisch nahestehender Tiere von ähnlichen Proportionen, aber möglichst verschiedener Grösse, so zeigt es sich vielfach, dass die Stoff- oder Energiewechselintensität keineswegs der Körpermasse, sondern vielmehr der Körperoberfläche proportional ist. Das Gesetz stützt sich auf die Tatsache, dass kleinere Tiere im Verhältnis zu ihrer Masse eine relativ grössere Oberfläche haben als grössere.

Das Rubner'sche Gesetz scheint für die pflanzliche Transpiration ausnahmslos zu gelten, ähnlich wie bei der physikalischen Wasserverdunstung, denn die zahllosen Spaltöffnungen, durch die bei Pflanzen die lebhafteste Transpiration stattfindet, sind gleichmässig über die ganze transpirierende Oberfläche verteilt. Betreffs der tierischen Transpiration hat RUBNER (1890) selbst einige Ergebnisse von Versuchen an Hunden und Meerschweinchen veröffentlicht, die mit seinem eigenen Gesetz in Einklang stehen. Nach NÜSSLIN (1879) verdunstet eine leichtere (kleinere) Schnecke (Nacktschnecke, *Arion*) mit relativ grösserer Oberfläche rascher als eine schwerere (grössere). Aber nach KÜNKEL (1916) besteht diese Beziehung nur dann, wenn die zu vergleichenden Tiere einen relativ gleichen Wasservorrat besessen haben, denn der Austrocknungsgrad ist bei Schnecken in höherem Grade von dem Wassergehalt abhängig, den sie am Anfang des Versuches besitzen, als von der Körpergrösse. Im Gegensatz zu Nacktschnecken gilt das Oberflächengesetz nicht mehr bei Gehäuse-schnecken, deren Wasserverdunstung durch das Gehäuse, die Aufhänge- und Schutzhäute wohl ganz bedeutend eingeschränkt werden kann.

Es fragt sich, ob das Rubner'sche Gesetz für die Insektentranspiration gilt. Bei der Betrachtung dieser Frage sind mir folgende Zweifel gekommen:

1) Bei Insekten sind die Öffnungen der Stigmen die wichtigsten Transpirationsstellen. Ihre Anzahl ist meistens gering; bei manchen Insekten kommen sogar weniger als 10 Paare vor. Unter diesen Umständen können die Stigmenöffnungen nicht die gesamte Verdunstungsfläche repräsentieren. Die Sachlage ist hier eine ganz

andere als bei Pflanzen, bei welchen die gleichmässige Verteilung der zahlreichen Spaltöffnungen über die Blattoberfläche die Reduktion auf eine bestimmte Flächeneinheit berechtigt.

2) Das Rubner'sche Gesetz lässt sich nicht ohne weiteres bei Organismen anwenden, deren Körperoberfläche nicht genau gemessen werden kann. Ein derartiges Objekt stellen die Insekten dar, da ihr Körper im allgemeinen nicht nur sehr klein ist, sondern auch wegen der hervorstehenden Extremitäten eine mathematische Oberflächenberechnung äusserst kompliziert macht. Wenn auch eine genaue Bestimmung der kutikulären Transpirationsfläche sich noch ausführen liesse, wäre dies für die stigmatäre Transpiration, bei der die ganze Verdunstungsfläche aus der freien inneren Oberfläche der Tracheen- und Tracheolenwände besteht, unmöglich.

3) Abgesehen davon, dass die Grundlagen des Rubner'schen Gesetzes heute noch nicht sichergestellt sind, gibt es eine Reihe durchaus abweichender Feststellungen, die nicht übersehen werden dürfen (s. KESTNER und PLAUT 1924). Auch für die Atmung, die in enger Beziehung zur Transpiration steht, gilt dieses Gesetz bei Insekten, deren Atemgrösse vielmehr mit der Körpermasse ansteigt, nicht (s. BUDDENBROCK 1928). In der Tierphysiologie pflegt man auch im allgemeinen die Stoff- oder Energiewechselintensität auf gleiche Gewichtseinheit zu beziehen.

Wegen der oben geschilderten Zweifel und Schwierigkeiten habe ich, um die Beziehungen der Transpiration zum Körpergewicht zu bestimmen, einige Untersuchungen ausgeführt, über die im folgenden berichtet wird.

Als Versuchsmaterial verwandte ich folgende Tiere: *Bombyx mori*; 5 Tage alte Larven des IV. Stadiums und 4 Tage alte des V. Stadiums. *Clania variegata* SNELLEN; Larven des IV. und V. Stadiums im Alter von 4 Tagen. *Saturnia pyretorum* WESTW.; Puppen im Ruhestadium.\*

---

\* In Formosa erstreckt sich die Überwinterungsperiode dieser Puppen von Juni bis Februar des nächsten Jahres. Das Experiment wurde am 20. September 1931 ausgeführt. Im Ruhestadium ist die Transpiration ausserordentlich gering.

Die Daten sind in den nachstehenden Tabellen angegeben und in den Kurven der Abbildungen 1, 2 und 3 graphisch dargestellt.

Tabelle 1.

Körpergewicht und Transpiration bei Seidenraupen (♂ u. ♀ zusammen),  
Temp. 30°C., rel. F. 55%.

Larven des IV. Stadiums			Larven des V. Stadiums		
Körpergewicht g.	Transpiration währ. 1 Std. mg.	Transpiration p. Kg. u. Std. g.	Körpergewicht g.	Transpiration währ. 1. Std. mg.	Transpiration p. Kg. u. Std. g.
0.4981	4.0	8.03	0.9374	12.0	12.80
0.5956	7.1	11.92	0.9807	11.8	12.24
0.7130	10.4	14.59	1.0313	14.0	13.58
0.7229	7.5	10.37	1.0690	16.4	14.97
0.7267	6.2	8.53	1.0968	14.0	12.76
0.7391	7.5	10.15	1.1907	11.9	10.08
0.7447	8.0	10.74	1.2747	19.5	14.90
0.8193	9.7	11.84	1.2865	14.1	10.88
0.8440	8.5	10.07	1.2915	19.5	15.48
1.0023	12.3	12.27	1.3487	17.6	12.60
1.0168	14.7	14.46	1.4492	14.5	10.35

Tabelle 2.

Körpergewicht und Transpiration bei Larven von *Clania variegata*  
SNELLEN (♂ u. ♀ zusammen).

Larven des IV. Stadiums bei Temp. 26°C. u. rel. F. 20%			Larven des V. Stadiums bei Temp. 26°C. u. rel. F. 59%		
Körpergewicht g.	Transpiration währ. 3 Std. mg.	Transpiration p. Kg. u. Std. g.	Körpergewicht g.	Transpiration währ. 3 Std. mg.	Transpiration p. Kg. u. Std. g.
0.5668	20.9	12.291	1.0900	33.0	10.092
0.6057	30.5	16.784	1.3582	54.0	13.253
0.7803	22.1	9.441	1.5138	35.9	7.905
0.7950	33.5	14.046	1.6581	38.1	7.659
0.8108	35.7	14.677	1.6865	45.2	8.934
0.9160	34.3	12.482	1.8730	63.5	11.301
1.3265	69.6	17.489	2.1822	137.6	21.020

Tabelle 3.

Körpergewicht und Transpiration bei Puppen von *Saturnia pyretorum*  
WESTW., Temp. 27°C., rel. F. 65%.

♂			♀		
Körpergewicht g.	Transpiration währ. 3 Tage mg.	Transpiration p. Kg. u. Tag g.	Körpergewicht g.	Transpiration währ. 3 Tage mg.	Transpiration p. Kg. u. Tag g.
1.4867	5.3	1.1883	2.1172	6.3	0.9915
1.5110	5.1	1.1251	2.1474	7.9	1.2263
1.5826	3.7	0.7293	2.2023	8.5	1.2865
1.6456	5.7	1.1483	2.2586	9.0	1.3282
1.7163	5.5	1.0682	2.2664	8.0	1.1433
1.7276	6.0	1.1576	2.2846	7.5	1.0943
1.7562	4.1	0.7782	2.3122	6.2	0.8938
1.7568	3.4	0.6451	2.3296	9.0	1.2878
1.7639	5.2	0.9826	2.3360	3.6	0.5137
1.7909	7.1	1.3214	2.3603	4.7	0.6637
1.8205	5.4	0.9887	2.3781	6.5	0.9111
1.8827	3.8	0.6728	2.3879	8.3	1.1586
1.9372	9.3	1.6002	2.4119	7.8	1.0779
1.9599	4.9	0.8334	2.4124	8.1	1.1192
1.9679	4.7	0.7963	2.4146	7.3	1.0077
1.9921	8.3	1.3888	2.4511	7.8	1.0607
2.0033	4.2	0.6988	2.4729	9.6	1.2940
2.0256	5.7	0.9379	2.5394	5.4	0.7088
2.0483	4.6	0.7485	2.7435	8.7	1.0570
2.1324	6.6	1.0317	3.2366	7.7	0.7980
2.1615	7.9	1.2183	3.8357	10.5	0.9124
2.2497	5.5	0.8149	3.9483	13.1	1.1026
2.2893	6.7	0.9755			
2.3185	6.0	0.8626			
2.3331	8.3	1.1858			

Wie die vorstehenden Tabellen und Abbildungen zeigen, ist die Tendenz dazu, dass die transpirierte Wassermenge mit dem Körpergewicht zunimmt, deutlich. Die die Transpirationswerte anzeigenden Punkte sind jedoch etwas unregelmässig zerstreut in jeder Abbildung, so dass es etwas schwierig ist, eine genaue ideale Kurve daraus zu konstruieren. Trotzdem zeigte es sich, dass eine gerade Linie, deren Schnittpunkt mit dem Nullpunkt des Koordinatensystems zusammenfällt, befriedigender ist als andere Linien, die wir in den betreffenden Abbildungen zu ziehen versucht haben. Die gesuchten Beziehungen kann man also in folgender Formel ausdrücken:

$$V = aG,$$

wobei V die Menge des transpirierten Wasserdampfes, G das Körpergewicht, und a eine für jede Tierart in den

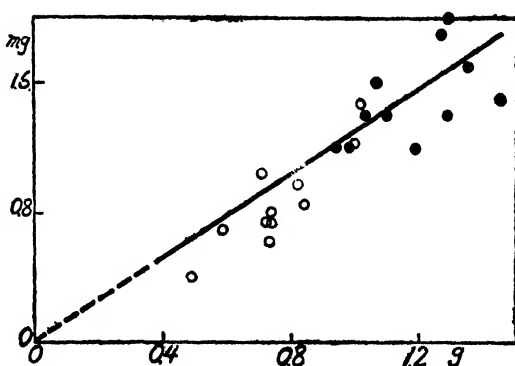


Abb. 1. Beziehungen des Körpergewichts (Abszisse) zur Transpiration (Ordinate) bei Seidenraupen; ○ Larven des IV. Stadiums, ● Larven des V. Stadiums.

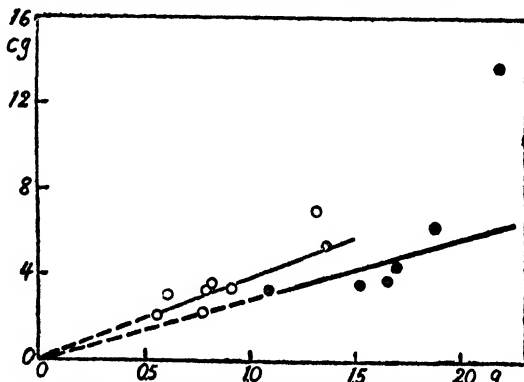


Abb. 2. Beziehungen des Körpergewichts (Abszisse) zur Transpiration (Ordinate) bei Larven von *Clania variegata*; ○ Larven des IV. Stadiums, ● Larven des V. Stadiums.

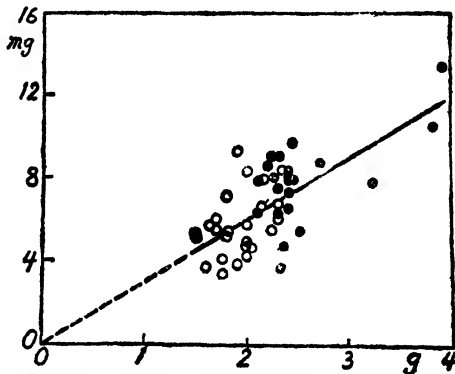


Abb. 3. Beziehungen des Körpergewichts (Abszisse) zur Transpiration (Ordinate) bei Puppen von *Saturnia pyretorum*; ○ Männchen, ● Weibchen.



gegebenen Versuchsbedingungen charakteristische Konstante darstellt. Aus diesen Angaben ist ersichtlich, dass die Berechnung der Ergebnisse auf die gleiche Gewichtseinheit keine so grossen Fehler mit sich bringt. Die Tatsache, dass die in der oben gegebenen Tabelle aufgeführten Transpirationswerte nach Umrechnung auf 1 Kilogramm Körpergewicht sich nicht verändern, sondern je nach dem Körpergewicht innerhalb derselben Spezies unter sonst gleichen Versuchsbedingungen annähernd konstant bleiben, zeigt ohne weiteres, dass die Transpiration proportional mit dem Körpergewicht wächst. Nach dem Oberflächengesetz aber müssten die Transpirationswerte, auf gleiche Gewichtseinheit reduziert, um so kleiner sein, je grösser das Körpergewicht, denn die schwereren Tiere haben eine relativ kleinere Oberfläche als die leichteren.

Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Reduktion auf die gleiche Gewichtseinheit nur dann vorgenommen werden darf, wenn die Versuchstiere derselben Art angehören oder wenigstens morphologisch und biologisch wenig voneinander abweichen, bzw. wenn die Körpergewichte oder die Entwicklungsstadien der Objekte nicht sehr verschieden sind. Ich werde später einige Beispiele anführen, die geeignet sind, diese Verhältnisse einwandfrei klarzulegen. (s. "Beziehungen zwischen Entwicklung und Transpiration" und "Transpirationsgrösse bei verschiedenen Insekten"). Unter den in diesen Beispielen beschriebenen Umständen sprechen die gefundenen Beziehungen - die Fälle mit verschiedenen Tierarten ausgenommen - für die Gültigkeit des Oberflächengesetzes.

Ich glaube, dass die Berechnung auf ein bestimmtes Körpergewicht als Einheit aus praktischen Gründen innerhalb derselben Spezies erfolgen kann, vorausgesetzt, dass die Körpergewichte der zu vergleichenden Individuen nicht allzusehr voneinander abweichen, da das Körpergewicht den einfachsten Massstab für die verschiedenen anderen Grössen bei ähnlich gebauten Individuen darstellt.

Die Proportionalität zwischen Transpiration und Gewicht war - wie oben erwähnt - nicht so genau, wie aus den vorstehenden Abbildungen zu ersehen ist. Ähnliche Figuren sehen wir in verschiedenen

Untersuchungen über den Betriebsstoffwechsel des Menschen (s. HARRIS u. BENEDICT 1919). Zum Teil sind vielleicht individuelle Abweichungen dafür verantwortlich zu machen. Da die Transpiration ebensowenig wie andere Stoffwechselvorgänge ein rein physikalischer, sondern ein von physiologischen Umständen der Organismen abhängender Vorgang ist, waren selbstverständlich Individualabweichungen in der Intensität der Transpiration wegen der Verschiedenheit der physiologischen Umstände zu erwarten.

In meinen Mitteilungen über Transpiration wende ich meistens die Reduktion der Werte auf 1 Kilogramm Körpergewicht und eine Stunde Zeit an (ausgedrückt in Grammen). Im folgenden will ich die umgerechnete Grösse der in jedem Fall unmittelbar gefundenen absoluten Transpiration auf gleiche Gewichtseinheit und Zeit als relative Transpiration bezeichnen.

*Zusammenfassung.* Innerhalb derselben Spezies unter sonst gleichen Versuchsbedingungen nimmt die Transpiration bei Individuen, deren Gewichte nicht bedeutend voneinander abweichen, im allgemeinen nicht mit der Körperoberfläche, sondern mit dem Körpergewicht proportional zu. Bei sehr abweichenden Gewichten scheint aber meistens das Rubner'sche Gesetz diese Beziehungen richtig zu erklären.

## II. Beziehungen zwischen Entwicklung und Transpiration

Die Intensität mancher Lebensvorgänge ist bei einem und demselben Individuum keineswegs eine konstante, sondern je nach dem Entwicklungsstadium verschieden. Besonders deutlich ist dieses bei Tieren wie den Insekten, die im Laufe des Wachstums Metamorphosen erfahren. Das Studium der Beziehungen des Transpirationsvorganges zur Entwicklung muss ohne Zweifel wichtiges Material zur Beurteilung der Frage liefern, ob der Vorgang ein rein physikalischer oder ein physiologischer ist.

Die Transpiration pro Stunde wurde bei *Bombyx mori* L. vom Ei an bis zum Ende der Puppenperiode jeden Tag bestimmt. Vor

dem V. Stadium der Larvenperiode aber erfolgte die Bestimmung nur am Tage vor jeder Häutung. Von dem V. Larvenstadium an bis zum Schluss der Puppenperiode wurden die Versuche für jedes Geschlecht getrennt ausgeführt.

Die gewonnenen Zahlen finden sich in nachstehender Tabelle; Abb. 4 bringt, um die Übersicht zu erleichtern, die entsprechende graphische Darstellung.

Tabelle 4.

Verschiedenheit der Transpirationsintensität während des Lebenszyklus von *Bombyx mori* bei 30°C. u. 55% rel. Feucht. L=Larvenstadium, H=Vorbereitungszeit für Häutung, P=Puppenstadium. Alle in der Tabelle aufgeführten Zahlen stellen von je 20 Tieren gewonnene Mittelwerte dar.

Alter in Tagen	Durchschn. Körp. Gew. g.	Durchschn. Transp. p. Tier u. Std. mg.	Durchschn. Transp. p. Kg. u. Std. g.	Durchschn. Körp. Gew. g.	Durchschn. Transp. p. Tier u. Std. mg.	Durchschn. Transp. p. Kg. u. Std. g.
Ei	0.0006	0.01	166.67	♂ u. ♀ zusammen		
L. I. 3	0.0037	0.08	21.63			
„ II. 3	0.0292	0.48	16.51			
„ III. 4	0.1818	2.45	13.46			
	Männchen			Weibchen		
„ IV. 5	0.6581	7.4	11.09	0.8553	9.8	10.26
„ V. II	0.5821	2.0	3.49	0.7416	2.3	3.25
„ V. 1	0.6510	2.9	4.56	0.7953	2.8	3.43
„ V. 2	0.7321	3.7	4.95	1.0197	3.8	3.87
„ V. 3	0.9268	3.4	3.67	1.3004	4.4	3.38
„ V. 4	1.2704	5.8	4.57	1.9260	5.7	2.96
„ V. 5	1.5912	5.1	3.58	2.1304	5.4	2.53
„ V. 6	1.8730	7.1	3.89	2.9972	15.1	5.05
„ V. 7	2.2410	11.9	5.30	3.0682	17.5	4.57
„ V. 8	2.4231	22.3	9.19	2.9556	29.9	10.12
P. 1	1.0557	2.0	1.83	1.3375	1.7	1.24
„ 2	1.0470	1.2	1.08	1.3294	0.7	0.56
„ 3	1.0555	1.0	0.92	1.3188	1.1	0.71
„ 4	1.0278	1.0	0.97	1.3069	1.2	0.93
„ 5	1.0265	1.1	1.09	1.2937	1.2	0.92
„ 6	1.0113	1.1	1.10	1.2809	1.2	0.94
„ 7	0.9950	1.5	1.57	1.2658	1.5	1.22
„ 8	0.9837	1.8	1.84	1.2544	2.7	2.15
„ 9	0.9668	2.3	2.37	1.2451	3.2	2.50

Verlauf der absoluten Transpiration. Die absolute Menge des durch ein Ei transpirierten Wassers ist ausserordentlich gering, sie nimmt aber nach der ersten Nahrungsaufnahme der jungen ausgeschlüpften Räupchen schnell zu. Mit zunehmender Grösse der Raupen wird sie immer grösser und erreicht den Höhepunkt im letzten Stadium der Larvenperiode. Die Transpirationsintensität nimmt auch mit dem Fortschreiten jedes einzelnen Stadiums immer mehr und mehr zu und erreicht den höchsten Grad am letzten Tage. Bei neu gehäuteten Puppen sinkt das Körpergewicht plötzlich auf die Hälfte bis ein Drittel des Gewichts der ausgewachsenen Larven, aber die Wasserdampfabgabe geht viel stärker herunter, nämlich auf  $1/10$  bei Männchen und  $1/17$  bei Weibchen. Die Transpiration geht während der folgenden 2–3 Tage stufenweise noch weiter herunter; um sich dann auf einem minimalen Stand zu halten, bis sie am Ende des Stadiums allmählich wieder ansteigt.

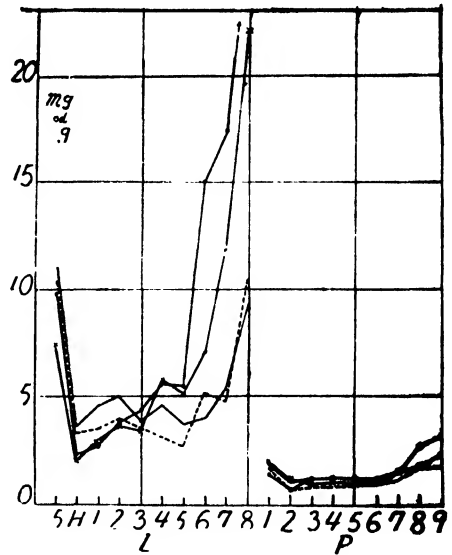


Abb. 4. Absolute (mg) und relative (g) Transpiration während der Larven- (L) und Puppenstadien (P) von *Bombyx mori*. Die Transpirationswerte sind auf der Ordinate, die Entwicklungsstadien auf der Abszisse eingetragen; —•— Abs. Transp. bei ♀, —×— bei ♂, ..... Rel. Transp. bei ♀, — bei ♂. Die letztere fällt vom dritten Tage an bis zum Ende der Puppenperiode mit der Kurve der absoluten Transpiration der ♀ zusammen. S. Tabelle 4.

Verlauf der relativen Transpiration. Die Menge des transpirierten Wasserdampfes umgerechnet auf ein kg. Körpergewicht ist so ausserordentlich gross bei Eiern, dass sie sich mit der in allen anderen Stadien ausgeschiedenen Wassermenge nicht vergleichen lässt. In der Larvenperiode nimmt sie mit der fortschreitenden Entwicklung immer mehr und mehr ab, den speziellen Fall des

Schlusses des V. Stadiums ausgenommen. In ein und demselben Larvenstadium bleibt die relative Transpiration konstant trotz der zunehmenden Körpergrösse, bis zum Stadiumende, wo sie ansteigt. Die Transpiration der Puppen zeigt einen Verlauf, der vollkommen mit dem der absoluten Transpiration übereinstimmt.

Wenn wir den Verlauf der Transpiration während der gesamten Larvenperiode vom I. bis zum V. Stadium überblicken, sehen wir, dass die absolute Wasserdampfmenge mit dem Zuwachs des Körpergewichts zunimmt, die relative Menge hingegen sich umgekehrt verhält, indem sie mit der Entwicklung herabsinkt. Dieses Herabsinken der relativen Transpiration ist so beträchtlich, dass wir diese Erscheinung nicht ausschliesslich physiologischen und morphologischen Veränderungen, die der Körper durchläuft, zuschreiben dürfen; es scheint uns vielmehr, dass auch die Oberflächenbeziehungen in hohem Grade daran beteiligt sein müssen. Bei der Larvenentwicklung ist der Gewichtszuwachs sehr gross; einem Gewicht von z.B. 0.0037 g. pro Tier im I. Stadium entspricht am Schluss des V. Stadiums ein 700-800 faches Gewicht, also 2.4281 g. (♂) bzw. 2.9556 g. (♀). Auf ein Kilogramm entfallen also im I. Stadium ungefähr 270000 Individuen, im V. Stadium aber nur 3400 (♀) bzw. 4100 (♂). Daraus folgt, dass die gesamte Körperoberfläche bei jüngeren Insekten sehr gross ist im Vergleich mit den älteren. Angesichts dessen dürfte die Annahme, dass das Oberflächengesetz für diesen Fall gelte, berechtigt erscheinen. Wie bereits gesagt, (s. "Beziehungen zwischen Körpergewicht und Transpiration") konnten wir bei Objekten, die im Gewicht nicht sehr stark voneinander abweichen, die Gültigkeit des Oberflächengesetzes nicht klar erkennen. In Fällen wie der vorliegende aber haben die sehr viel kleineren Tiere (die jüngeren) im Vergleich mit ihrer Masse eine relativ viel grössere Oberfläche als die grossen (die älteren), woraus sich eine auffällige Transpirationsabnahme ergibt.

Daran anschliessend muss ich noch die Beteiligung der physiologischen Vorgänge an dieser Erscheinung berühren. Es ist klar, dass die Gültigkeit der oben genannten beiden Gesetzmässigkeiten

(Oberflächen- und Gewichtsgesetz) keine Stütze darin findet, dass in ein und demselben Larvenstadium die relative Transpiration keineswegs mit der Entwicklung abnimmt, sondern trotz der Körpvergrösserung ungefähr konstant bleibt bzw. erstaunlich grosse Mengen von Wasserdampf am Schlusse des V. Stadiums durch die Larven transpiriert werden. Besonders deutlich ist das in Fällen mit sehr kleiner relativer Transpiration der Puppen trotz der kleinen Körpermasse. Im folgenden will ich über diese Beziehung der Transpirationsgrösse zu den physiologischen Veränderungen, die der Tierkörper während der Entwicklung durchläuft, diskutieren und meine Ausführungen durch Kurven des Transpirationsverlaufs illustrieren.

Es kann beobachtet werden, dass die Kurve des Transpirationsprozesses im Laufe der Entwicklung der allgemeinen Stoffwechselkurve ähnlich ist. Der Atmungsverlauf zeigt am deutlichsten das Fallen und Steigen des Betriebsstoffwechsels und muss daher je nach der Tierart sich charakteristisch gestalten. Das ist aber nicht der Fall mit holometablen Insekten, bei denen der Verlauf immer der gleiche ist. Bei *Bombyx mori* wurde die Atemgrösse durch alle Lebensstadien hindurch von KAWASE (1918), ŌKAWA (1926) und GOLYSCHEW (1928) studiert. Alle diese Ergebnisse stehen miteinander im Einklang und können wie folgt zusammengefasst werden.

1) Die Atemgrösse der Eier ist sehr klein pro Ei, aber sehr gross pro Gewichtseinheit.

2) Die absolute Atemkurve ( $O_2$ -Verbrauch und  $CO_2$ -Ausscheidung pro Individuum) von Larven wird mit dem Fortschreiten der Entwicklungsstadien immer steiler. Eine Ausnahme stellen alle Häutungszeiten dar, in denen die Werte niedriger sind als in anderen Entwicklungsabschnitten. Aber bei Reduktion auf ein gewisses Einheitsgewicht nimmt die Transpiration von Stadium zu Stadium ab; nur in Häutungszeiten ist das Verhältnis dasselbe wie bei den absoluten Werten. In ein und demselben Stadium nimmt also im Laufe der Entwicklung die absolute Grösse zu, die relative ab.

3) Die Atemgrösse der Puppen fällt in erstaunlichem Masse ab im Vergleich mit der des letzten Larvenstadiums. Die  $O_2$ - und  $CO_2$ -Kurven nehmen beide im Verlauf der Puppenzeiten die U-Form an, d.h. die Atmung sinkt in den ersten 2-4 Tagen des Puppenlebens, bleibt dann einige Tage annähernd gleich, um dann zuerst langsam und am Tage der Schlüpfung der Schmetterlinge rapid zu steigen.

Die bei *Bombyx mori* gefundene Kurvenform können wir auch bei anderen holometabolen Insekten sehen, besonders deutlich während des Verlaufs der Puppenstadien. Nach einer bekannten Untersuchung von KROUGH (1914) kann man das Puppenleben des Mehlkäfers, *Tenebrio molitor*, in drei Perioden einteilen. Während der Zerstörung des Larvengewebes geht der Stoffwechsel stufenweise herunter und bleibt auf dem niedrigsten Niveau während der Zeit, in der der Umbau des Tieres ruht. Beim Aufbau des Imagogewebes steigt der Stoffwechsel allmählich wieder an. Das Gleiche gilt auch für verschiedene andere Insekten, wie Lepidopteren, Koleopteren, Hymenopteren und Dipteren (WEINLAND '06, TANGL '09, BODINE u. ORR '25, CLARE '25, FINK '25, TAYLOR '27, FREW '29, BOCK '30, TAYLOR u. STEINBACH '31).

Die Kurve der Wasserdampfabgabe während der Metamorphose, die wir bei *Bombyx mori* gewonnen haben, steht betreffs der Form im Einklang mit den für respiratorischen Gaswechsel erhaltenen Kurven. Ähnlich gestaltete Kurven können wir auch in den Untersuchungen von WEINLAND (1906) und BOCK (1930) an Calliphorapuppen sehen. Diese Erfahrungen legen die Vermutung nahe, dass die Transpiration in enger Beziehung zur Atmung stehe. Steigende Atmung erhöht ohne Zweifel den spirakulären Wasseraustritt; auch kann man eine besondere Förderung der Wasserabgabe durch Stigmenöffnungen erwarten, durch die der Überschuss von Oxydationswasser, dessen Quantität zweifellos mit der Erhöhung der Atmung zunimmt, beseitigt wird.

Es darf nicht vergessen werden, dass die mit der Atmung zunehmende Transpiration eine wichtige Rolle bei der Wärmeabgabe der Tiere spielt.

Schliesslich möchte ich noch bemerken, dass es möglich ist, anstatt der verhältnismässig mühevollen Bestimmung der Atmung bei der Beurteilung der Stoffwechselintensität die der Transpiration zu gebrauchen.

*Zusammenfassung.* Die Ergebnisse lassen sich kurz noch einmal wie folgt zusammenfassen. Die absolute Menge des transpirierten Wassers eines einzelnen Eies ist ausserordentlich gering, aber der auf eine bestimmte Gewichtseinheit umgerechnete Wert ist unvergleichlich grösser als in allen anderen Entwicklungsstadien.

Die absolute Transpirationskurve der Larven wird mit dem Fortschreiten der Entwicklung immer steiler. Eine Ausnahme stellen aber alle Häutungszeiten dar, in denen die Werte niedriger sind als in anderen Entwicklungsabschnitten. Die relativen, d.h. auf eine bestimmte Gewichtseinheit umgerechneten Werte nehmen von Stadium zu Stadium ab, bei Häutungszeiten verhalten sie sich aber wie die absoluten Werte. In ein und demselben Stadium nehmen die letzteren zu, die ersteren aber bleiben ziemlich konstant trotz der Körpvergrösserung, bis zum Stadiumende, wo sie plötzlich ansteigen.

Die Transpirationsgrösse der Puppen fällt im Vergleich mit der des letzten Larvenstadiums auffällig ab. Während der Zerstörung des Larvengewebes geht sie stufenweise herunter und bleibt auf dem niedrigsten Niveau während der Zeit, in der der Umbau des Tieres ruht. Beim Aufbau des Imagogewebes steigt sie allmählich wieder an.

Die Kurve dieses Transpirationsverlaufs stimmt in der Form mit den für allgemeinen Stoffwechsel erhaltenen Kurven überein.

Es scheint mir, dass diese Unterschiede in der Transpirationsgrösse während des Lebenszyklus auf zweierlei Veränderungen zurückzuführen sind, nämlich die des physiologischen Zustandes und die der Körperoberfläche.

### III. Transpirationsverlauf während der Häutungsperioden

Wenn die Insekten den Abschluss eines Stadiums erreichen, geben sie alle Nahrungsaufnahme auf, begeben sich in Ruhezustand



und schicken sich zur Häutung an. Das harte Chitinkleid ist nur selten einer stärkeren Ausdehnung fähig. Es wird abgeworfen, und eine weiche, dünne, dehbare, neue Cuticula kommt zum Vorschein. Sie verdickt sich nach und nach und wird mit der Zeit hart. Während solcher Häutungszeiten sind die Organfunktionen vermindert, und der Stoffwechsel ist dementsprechend auf ein niedrigeres Niveau eingestellt.

Der Zweck der hier zu beschreibenden Untersuchungen war, die Transpirationsgrösse in diesen Zeiten zu bestimmen.

Einfluss der Aktivität. Die Beziehungen zwischen Aktivität während der Häutungszeiten und Transpirationsgrösse veranschaulichen die Zahlen der nachstehenden Tabelle.

Tabelle 5.

Transpirationsgrösse vor und nach der vierten Häutung der Seidenraupen; Temp. 26°C., rel. Feucht. 60%, Zahl der Versuchstiere 20.

Vor u. nach der Häutung	Durchschn. Körp.gew. g.	Durchschn. Transp. p. Tier u. Std. mg.	Durchschn. Transp. p. Kg. u. Std. g.	Bemerkungen
24 Std. vor	0.7120	6.8	9.55	Frasstätigkeit lebhaft
3 „ „	0.5974	1.7	2.85	Nachlassen der Frasstätigkeit, Stillstand
3 „ nach	0.5759	10.1	17.54	„ „
24 „ „	0.7381	3.3	4.47	Dreimal gefüttert

Vor dem Abschluss eines Stadiums befinden sich die Larven im Zustand des lebhaftesten Stoffwechsels und zeigen dementsprechend eine intensive Transpiration. Aber wenn sie in die Vorbereitungsruhezeit für die Häutung eintreten, wobei ihre Aktivität vermindert ist, sinkt die Transpiration auf ein auffallend niedriges Niveau. Nach dem Abwerfen der alten Cuticula steigt aber die Transpiration sofort wieder an. Die Menge des ausgeschiedenen Wassers ist doppelt so gross wie am Schluss des vorangegangenen Stadiums. Diese ausserordentlich hohe Transpiration vermindert sich bei Larven nach 24 Stunden. Nach der Häutung ist jedoch die Wassermenge grösser als in der Ruhezeit.

Daraus geht hervor, dass der Transpirationsverlauf in enger Beziehung mit der Stoffwechselintensität und Aktivität der Tiere steht, es muss aber betont werden, dass die erheblich hohen Mengen von Transpirationswasser bei Larven 3 Stunden nach der Häutung und, umgekehrt, die kleinen Mengen 24 Stunden nach dieser nicht ausschliesslich auf Aktivität und Stoffwechselintensität zurückzuführen sind. Die nachstehende Untersuchung erklärt dieses Verhalten.

**Einfluss der Cuticuladicke.** Nach einer alten Untersuchung von REINHARD (1869) fördert die Dünnhcit der Epidermis der menschlichen Haut die Transpiration. Ich machte einen Versuch, um zu sehen, wie sich die Cuticula der Insekten in dieser Hinsicht verhält. Unmittelbar nach der Häutung hat die erneuerte Cuticula der Insekten nur eine minimale Dicke, mit der Zeit aber wird sie immer dicker und dicker. Bei der Verpuppung von *Bombyx mori*, ebenso wie bei der Häutung im Larvenstadium, erreicht die erneuerte Pigmentschicht (od. primary cuticula), wie TOWER (1906) bei Koleopteren gefunden hat, ihre Maximaldicke vor der Absonderung der alten Cuticula, folglich kann nach der Häutung keine Zunahme an Dicke beobachtet werden. Im Gegensatz dazu wird die Bildung der inneren Schicht, Hauptlage (od. secondary cuticula), nach der Häutung ausgeführt, sie wächst also mit der Zeit.

Eine histologische Messung zeigte folgendes Ergebnis.

Tabelle 6.

Dicke der kutikulären Wand an einzelnen Skelettplatten der 3 und 24 Std. alten Seidenpuppen nach der Verpuppungshäutung: Durchschnittswerte aus je 5 Individuen.

Alter	Dicke der Cuticula in $\mu$		
	Pigmentschicht	Hauptlage	Gesamte Dicke
3 Std.	5.3	4.24	9.54
24 Std.	5.3	18.55	23.85

Bei diesen 3 und 24 Stunden alten Puppen bestimmte ich die Grösse der totalen, kutikulären und spirakulären Transpiration und

fand dabei, dass alle Arten von Transpiration lebhafter sind bei den ersteren als bei den letzteren. Die gewonnenen Zahlen sind aus Tabelle 7 zu ersehen.

Tabelle 7.

Mittelwerte der totalen, kutikulären und spirakulären Transpiration bei 3 Std. und 24 Std. alten Seidenpuppen nach der Verpuppungshäutung. Durchschn. Werte aus je 5 Individuen., Temp. 26°C., rel. Feucht. 55%.

Bei	Transpiration	Transp. p. Kg. u. Std. g.
3 Std. alten Puppen	Totale	2.9804
	Kutikuläre	1.5360
	Spirakuläre	1.4444
24 Std. alten Puppen	Totale	0.8767
	Kutikuläre	0.3245
	Spirakuläre	0.5522

Aus der obigen Tabelle könnte man annehmen, dass die hohe Menge der kutikulären Transpiration der jungen Puppen durch starke Evaporation der die erneuerte Cuticula befeuchtenden Exuvialflüssigkeit verursacht sei. Bei unseren drei Stunden alten Puppen konnte aber keine Spur von Nässe auf der Hautoberfläche unter dem Mikroskop festgestellt werden. Auch liegt die Vermutung nahe, dass es richtiger ist, die Abnahme der kutikulären Wasserabgabe bei 24 Stunden alten Puppen auf eine physiologische Ursache zurückzuführen, als auf die Dicke der Cuticula, denn nicht nur die gesamte Wasserabgabe durch den ganzen Körper nimmt ab, sondern auch die durch die Stigmenöffnungen. Ich glaube aber, dass dies doch nicht ganz richtig ist.

Die Abnahme der spirakulären Transpiration während 21 Stunden (24-3 Std.) beträgt 61.77% des bei 3 Stunden alten Puppen gefundenen Wertes, während die der kutikulären 78.87% ausmacht. Folglich, wenn man die Abnahme der spirakulären Transpiration als einen Erfolg der inneren physiologischen Änderungen des Körpers betrachtet,

muss man die Ursache des grösseren Wertes für die Abnahme der kutikulären Transpiration in der Verdickung der kutikulären Wand suchen. Mit anderen Worten, die Differenz der Abnahmeprozentsätze der beiderlei Transpirationen würde den Verdickungsindex der Cuticula angeben. Die Annahme, dass die Verringerung der spirakulären Transpiration eine Folge der physiologischen Veränderungen des Körpers ist, kann die Frage auch nicht einwandfrei lösen. Die Verhältnisse sind hier ziemlich kompliziert; da die innere Oberfläche der Tracheenwand mit Chitinintima angekleidet ist, muss auch diese eine Verdickung erfahren. Folglich wird die Abnahme der spirakulären Transpiration ihren Grund auch zum Teil in der Verdickung der Chitinintima haben. Die etwas kleinere Abnahme dieser Transpiration als der kutikulären ist verständlich, wenn wir daran denken, dass, wie TOWER für Koleopteren zeigte, ein Teil der Tracheolen ohne Haut bleibt, und daher auch keine Verdickung aufweist.

Auf jeden Fall ist es höchst wahrscheinlich, dass die so lebhaftes Wasserdampfabgabe sofort nach der Häutung, die kutikuläre wie auch die spirakuläre, zum grössten Teil auf die Dünnhheit der Cuticulabekleidung der transpirierenden Oberfläche zurückzuführen ist.

*Zusammenfassung.* Der Transpirationsverlauf bei Insekten vor und nach der Häutung ist also sehr charakteristisch. Zur Zeit des Stadiumendes erreicht die Transpiration einen hohen Grad, aber wenn die Tiere in die Vorbereitungsruhezeit für Häutung eintreten, sinkt sie auf ein erstaunlich niedriges Niveau. Dann steigt sie unmittelbar nach dem Abwerfen der alten Cuticula plötzlich wieder an, worauf sie sich aber mit dem Ablauf der Entwicklung wieder verringert.

Dieser Verlauf steht zweifellos mit der Stoffwechselintensität und Aktivität der Tiere in enger Beziehung; die Dicke des Cuticula-kleides bzw. der Intima spielt auch eine wichtige Rolle dabei.

#### IV. Geschlechtsbedingte Unterschiede

Bei *Bombyx mori* ist die absolute Menge des Transpirationswassers in fast allen Stadien der Larven- und Puppenperiode bei Männchen grösser als bei Weibchen, aber bei der relativen Transpiration wird das Verhältnis umgekehrt (s. Tabelle 4 u. Abb. 4). Das Gleiche wurde gefunden auch in einem Versuch mit Bombyxpuppen (s. Tabelle 13), in welchem der Wasserdampfwert, auf 1 kg. Gewicht und 1 Stunde umgerechnet, 0.720 g. bei Männchen (an 16 Tieren gewonnener Mittelwert) und 0.625 g. bei Weibchen betrug. Diese Beziehung ist aber nicht zu verallgemeinern, denn es gibt Fälle, in welchen das Verhältnis umgekehrt ist, wie folgendes Beispiel zeigt. Weibliche Puppen von *Saturnia pyretorum* WESTW. von 1 kg. Gesamtgewicht verloren 1.0278 g. Wasser (Mittelwert aus 22 Puppen) pro Tag, 1 kg. männlicher aber 0.9559 g. in derselben Zeit (Mittelwert aus 25 Puppen) (s. Tabelle 14).

Bei respiratorischem Stoffwechsel ist der Unterschied zwischen den Geschlechtern auch noch nicht genau bestimmt. Nach den Untersuchungen von FINK (1925) und TAYLOR u. STEINBACH (1931) z.B. ist die Atmung der Männchen bei Koleopteren und Lepidopteren etwas höher als die der Weibchen bei gleichem Gewicht, aber CLARE (1925) und FREW (1929) konnten bei Dipteren keine merkliche Differenz finden.

Die Ursache des geschlechtsbedingten Unterschieds beruht wohl darauf, dass die beiden Geschlechter sich in der Stoffwechselintensität oder Aktivität oder auch in den Körperoberflächenverhältnissen voneinander unterscheiden. Aus den Versuchen geht jedenfalls hervor, dass die Reduktionswerte auf eine bestimmte Gewichtseinheit keinen sehr bedeutenden Unterschied der Geschlechter aufweisen. Darum ist es nicht nötig, einen Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern in den Versuchen zu machen.

*Zusammenfassung.* Die Versuche mit Männchen und Weibchen haben gezeigt, dass die absolute Transpiration bei Weibchen etwas höher ist als bei Männchen, und dass dieses Verhältnis sich bei der

relativen Transpiration umkehrt. Der gefundene Unterschied ist ziemlich klein und kann in Versuchen ausser acht gelassen werden.

## V. Transpiration bei Nahrungsaufnahme und Aushungerung

In gutem Ernährungszustand ist der Stoffwechsel ziemlich hoch. Der allgemeine Weg, der zur Erkenntnis dieser Tatsache führt, ist das Studium der Atmung. Es ist eine längst bekannte Tatsache, dass alle Tiere einen lebhafteren Gaswechsel zur Zeit reichlicherer Ernährung als bei schlechter oder im Hungerzustand haben; ferner, dass der Gaswechsel sofort nach der Nahrungsaufnahme wegen der gesteigerten Tätigkeit der Verdauungsorgane zunimmt.

Wir besitzen aber bis heute fast gar keine ausführlichen experimentellen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Transpiration, die von RUBNER (1890) ausgenommen. PETTENKOFER und VOIT (zit. n. RUBNER 1890) haben beim Hunde bei ihren Stoffwechselversuchen zum Zwecke der Sauerstoffbestimmung vielfach die abgegebene Wasserdampfmenge gemessen und sind zu dem mit der bisher vertretenen Auffassung in Widerspruch stehenden Ergebnis gekommen, dass bei reichlicher Nahrungszufuhr die Menge des ausgeschiedenen Wassers vielmehr kleiner ist als bei Hunger. Dieses Thema ist aber an demselben Objekt von RUBNER in erschöpfender Weise behandelt worden (1890). Aus der Tatsache, dass die Wärmebildung der Tiere sich durch reichliche Nahrungszufuhr beträchtlich hebt, vermutete er, dass die Wasserverdunstung sich gleichfalls erhöhen wird als ein Mittel zur Abgabe vermehrter Wärme. RUBNER hat eine Reihe eingehender Versuche ausgeführt, um den Einfluss von verschiedenen Mengen der aufgenommenen Nahrungsstoffe, wie Fleisch oder Fett, auf die Wasserdampfabgabe unter verschiedenen Lufttemperaturen genau zu bestimmen. Die Ergebnisse bestätigten seine Annahme vollkommen, wenn die Umgebungstemperatur hoch war. So steigerte die Nahrungszufuhr die Wasserdampfausscheidung des Hundes in einem ungeheueren Grade bei hoher Temperatur, wie z.B. bei 30°C. Bei niedriger Temperatur, wie z.B. 20°C., trat aber

die Wirkung nicht einwandfrei oder nur teilweise zutage. Bei sehr niedriger Temperatur ferner, wie 7°C., übte die Nahrungszufuhr, auch wenn sie sehr reichlich war, offenbar gar keine Wirkung aus. So kam RUBNER zu der Überzeugung, dass neben relativer Feuchtigkeit und Temperatur der umgebenden Luft die Ernährung ein gleich wichtiges Moment der Wasserdampfausscheidung ist, dass die Wirkung aber bei verschiedenen Temperaturen ungleich und zum Teil vollkommen untergeordnet ist. RUBNER fand auch, dass die Art der Nahrungsstoffe keine Rolle dabei spielt wegen der Geringfügigkeit der Wirkung.

Ich will nun im folgenden über verschiedene eigene an Insekten ausgeführte Versuchsreihen berichten, die ich angestellt habe, um den Einfluss von Nahrungsaufnahme und Hunger auf die Grösse der Wasserdampfabgabe kennen zu lernen.

#### (A) Versuche mit Karnivoren

a). *Hierodula saussurei* KIRBY (Mantistiden). Zunächst wählte ich als typisches fleischfressendes Tier eine Fangheuschrecke (*Hierodula saussurei* KIRBY). Drei Individuen von ähnlicher Körpergrösse wurde jede Nahrung während 12 Stunden vor dem Versuch entzogen. Diese Tiere wurden dann mit verschiedener Anzahl lebender junger Larven von *Oxya vicina* BRUNNER VON WATTENWYL gefüttert; die stündige Transpirationsgrösse wurde vor und nach der Fütterung bei 21°C. und relativer Feuchtigkeit von 75% bestimmt. Die erhaltenen Zahlen zeigt die Tabelle 8.

Beim Tiere I, das 0.3448 g. *Oxya*-Larven aufnahm, veränderte sich die Transpirationsgrösse durch die Nahrungsaufnahme nicht, sondern blieb fast konstant; aber bei den Tieren II und III, die mit weit reichlicherer Nahrung gefüttert wurden, konnten wir eine Zunahme der Wasserdampfabgabe nach der Fütterung beobachten, ferner auch, dass dieser Vorgang umso energischer verläuft, je grösser die Nahrungsmenge ist.

Das so gewonnene Ergebnis scheint uns eine natürliche Folge des vermehrten Stoffwechsels und der erhöhten Tätigkeit des

Tabelle 8.

Einfluss der Nahrungsaufnahme auf die Wasserdampfabgabe von Fangheuschrecken.

Versuchsnummer	I			II			III		
Anfangskörp.gew.	3.206 g.			3.9804 g.			3.2152 g.		
Körp.gew. nach Fütterung	3.5814 g.			4.8064 g.			4.1805 g.		
Gew. d. aufgen. Nahrung	0.3448 g.			0.8460 g.			0.9743 g.		
Zeit vor u. nach Fütterung	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis
Vor 1 Std.	5.7	1.758	100	5.5	1.380	100	3.5	1.087	100
Nach 1 „	5.7	1.591	89	7.8	1.616	117	6.7	1.599	147
„ 2 „	6.5	1.818	104	7.1	1.473	107	5.0	1.195	110
„ 3 „	5.1	1.432	81	5.9	1.226	89	5.6	1.340	123
„ 4 „	6.0	1.683	96	7.4	1.559	112	8.1	1.941	179
Gesamte Menge währ. 4 Std. nach Fütterung		6.524	370		5.854	425		6.075	559

Verdauungsapparates unmittelbar nach der Nahrungsaufnahme zu sein. Die gesteigerte Transpiration ist auch dazu geeignet, die Wärme aus dem in reichlicher Wärmeproduktion befindlichen Tier zu entfernen.

Ich besitze aber noch ein anderes Ergebnis, das zeigt, dass die Verhältnisse bedeutend komplizierter sind, als wir oben annahmen. Es handelt sich um einen Versuch mit einer Spezies von Ascalaphiden (Neuroptera).

b). *Achelon trux* WALKER (Ascalaphiden). Die Larven dieser Ascalaphiden-Spezies sind von den echten Ameisenlöwen, die man in der Regel in der Tiefe eines in feiner Erde oder Sand eingesenkten Trichters findet, verschieden. Sie kommen meistens auf der Erdebewegungslos liegend vor, nur selten umherwandernd.



Ich hatte guten Erfolg mit der Züchtung dieser Larven bei künstlicher Ernährung mit kleinen Heuschrecken, deren Körpersäfte die Larven aussaugen.

Das Ergebnis des Versuches mit drei Larven dieser Spezies bei einer Lufttemperatur von 26°C. und relativer Feuchtigkeit von 65% ist in nachstehender Tabelle verzeichnet.

Tabelle 9.

Einfluss der Nahrungsaufnahme auf die Wasserdampfabgabe von *Achelontyx* WALKER.

Versuchsnummer	I			II			III		
Anfangskörp.gew.	0.2202 g.			0.2138 g.			0.2754 g.		
Körp.gew. nach Fütterung	0.2477 g.			0.2479 g.			0.276 g.		
Gew. d. aufgen. Nahrung	0.0275 g.			0.0341 g.			0.0522 g.		
Zeit vor u. nach Fütterung	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis
Vor 1 Std.	0.9	4.071	100	0.7	3.263	100	1.1	3.978	100
Nach 1 „	0.5	2.019	49	0.7	2.824	87	0.6	1.832	46
„ 2 „	0.1	0.405	10	0.3	3.236	99	0.7	2.141	54
„ 3 „	0.2	0.869	29	0.4	1.623	49	0.5	1.575	38
„ 4 „	0.2	0.810	21	0.4	1.622	49	0.6	1.845	46
Gesamte Menge währ. 4 Std. nach Fütterung	4.043 99			9.305 284			7.353 184		

Aus der Tabelle ist zu ersehen, dass die Zufuhr auch sehr reichlicher Nahrung offenbar nicht nur gar keine positive Wirkung bei diesen Insekten ausübt, sondern eine sogar merklich negative. Man könnte vermuten, dass dieses Resultat auf der Tatsache beruhe, dass die aufgenommene Nahrung eine Flüssigkeit ist; es könnte auch durch den bewegungslosen Zustand der Tiere verursacht sein.

Bis auf weiteres kann ich keine einwandfreie Erklärung dieses Falles geben.

### (B) Versuch mit Herbivoren

Als Versuchsobjekt dienten vier nach der vierten Häutung vier Tage alte Seidenraupen, denen während 12 Stunden vor dem Experiment keinerlei Nahrung verabreicht worden war.

Folgende Ergebnisse wurden bei Lufttemperatur von 26°C. und 45% rel. Feuchtigkeit gewonnen.

Tabelle 10.

Einfluss der Nahrungsaufnahme auf die Wasserdampfabgabe der Seidenraupen.

Versuchsnummer	I		II		III		IV	
Anfangskörpergew.	1.689 g.		1.2332 g.		1.2239 g.		1.3046 g.	
Körp.gew. nach Fütterung	1.3375 g.		1.4041 g.		1.3778 g.		1.4868 g.	
Gew. d. aufgenom. Nahrung	0.0646 g.		0.1209 g.		0.1539 g.		0.1822 g.	
Zeit vor u. nach Fütterung	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Verhältnis
Vor 1 Std.	2.393	100	2.748	100	2.969	100	2.569	100
Nach 1 „	3.112	130	2.999	109	4.284	144	4.331	168
„ 2 „	2.279	95	3.331	121	3.467	116	2.960	115
„ 3 „	1.982	82	3.256	118	4.150	139	3.508	136
„ 4 „	2.339	97	3.009	109	3.209	108	2.392	93
Gesamte Menge währ. 4. Std. nach Fütterung	9.712	404	12.595	457	15.110	507	13.191	512

Die Ergebnisse bei den Herbivoren zeigen eine vollkommene Übereinstimmung mit den Befunden an den Fangheuschrecken. Die Wasserdampfabgabe wird durch die Nahrungszufuhr erhöht, und

zwar umso mehr, je grösser die Quantität der aufgenommenen Nahrung ist.

Es wurde auch beobachtet, dass die vermehrte Transpiration 3-4 Stunden nach der Fütterung auf die normale Höhe zurückkommt. Nach der Untersuchung von SAKURAI (1930) beträgt die für die Verdauung der aufgenommenen Nahrung erforderliche Zeit bei Seidenraupen des V. Stadiums ungefähr 3 Stunden. Sehr interessant ist diese Übereinstimmung zwischen Verdauungszeit und der Dauer der Transpirationserhöhung in Bezug auf die physiologische Bedeutung der Transpiration.

Einfluss des Hungers. Der Stoffwechsel im Hungerzustand ist schon früher bei verschiedenen Tieren wiederholt untersucht worden, aber unsere Kenntnisse über die Transpiration sind sehr mangelhaft geblieben. Dass die Stoffwechselintensität bei Insekten im Hungerzustand heruntergeht, ist eine lange bekannte Tatsache, wie wir z.B. in der Mitteilung von BODINE (1923) über Orthopteren an der Atmung sehen können. In Bezug auf die Transpirationsgrösse während dieser Zeit ist der Energieverbrauch der Tiere von besonderer Bedeutung. Nach der Untersuchung von FARKAS (1903) brauchen die hungernden Seidenraupen pro Tag 197.6 kal. pro g., genährte Tiere 2.27 mal so viel. Auch SLOWTZOFF (1902) zeigte, dass die Maikäfer während des Hungers 17.89 kal. pro g. verbrauchen.

Tabelle 11.

Vergleich des Transpirationsverlaufes bei hungernden und normal genährten Seidenraupen des V. Stadiums. Temp. 30°C., rel. Feucht. 55%. Die in der Tab. gegebenen Zahlen sind Mittelwerte aus je 10 Raupen.

Tage an V. Stad.	Hungernde Tiere				Genährte Tiere			
	Körp.- gew. g.	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Ver- hältnis	Körp.- gew. g.	H <sub>2</sub> O p. Tier u. Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Ver- hältnis
5	2.0265	11.2	5.548	100	2.1873	9.4	4.205	100
6	1.8498	5.2	2.814	50	2.0901	12.1	5.793	137
7	1.7851	4.8	2.328	41	2.2933	30.5	13.519	321
8	1.6948	3.4	2.005	34	Kokons gebildet			

Im folgenden teile ich mein eigenes Versuchsergebnis über die Transpirationsänderungen während der Hungerzeiten von 5 Tage alten Seidenraupen des V. Stadiums mit.

Das Resultat ist aus Tabelle 11 zu ersehen.

Wie diese Tabelle zeigt, sinkt die Transpiration der Hungertiere nach einem Tage um 50%, nach weiterem Hungern noch mehr, während die normal gefütterten Raupen je nach der Entwicklung immer mehr transpirieren. Dieses Resultat liefert einen interessanten Beitrag zur Beurteilung des Hungerstoffwechsels.

*Zusammenfassung.* Die Ergebnisse dieses Abschnitts lassen sich kurz dahin zusammenfassen, dass mit wachsendem Quantum (über einen gewissen Grenzwert hinaus) der aufgenommenen Nahrung die Wasserdampfausscheidung bei gewissen fleisch- wie pflanzenfressenden Insekten zunimmt.

Die Nahrungszufuhr vermindert jedoch die Transpiration bei reichlich genährten sich nicht bewegenden und Körpersäfte saugenden Insekten, wie die Ascalaphiden, und selbst bei den oben geschilderten Insekten, wenn die Nahrungsmenge unterhalb eines gewissen Grenzwertes bleibt.

Bei Herbivoren stimmt die Zeitdauer der erhöhten Transpiration nach dem Füttern mit der Verdauungszeit überein. Es gibt keinen merklichen Unterschied in der Transpirationserhöhung zwischen Karnivoren und Herbivoren.

Im Hungerzustand nimmt die Transpiration bedeutend ab.

## **VI. Abhängigkeit der Transpiration von der Muskelarbeit**

Sobald in irgendwelchen Organen eines Tieres Arbeit geleistet wird und die Verbrennungsprozesse im Körper gesteigert werden, muss eine entsprechende Energiemenge verbraucht werden. Ähnlich wie bei Fütterung und Aushungerung liegen die Verhältnisse bei Bewegungen des gesamten Körpers bzw. einzelner Organe und im Ruhezustand. Es liegen eine Reihe von Untersuchungen vor, die zeigen, dass die Wasserdampfproduktion bedeutend zunimmt, wenn

Menschen oder höhere Tiere sich bewegen. (VOIT u. CRAMER, zit. n. RUBNER 1890, RUBNER 1890, WOLPERT 1896 u. 1899). Die Verhältnisse bei den niederen Tieren sind bisher fast nicht untersucht worden, abgesehen von Künkel's Versuchen (1916) mit Lungenschnecken. Nach ihm wird die Gewichtsverminderung, also auch Wasserverdunstung der Gehäuseschnecken, wie *Helix*, in auffallender Weise beschleunigt, wenn man sie öfters stört und zum Auskriechen veranlasst.

Meine Versuche beziehen sich auf *Danaïd plexippus* L. Sechs Individuen wurden gefangen. Drei von ihnen wurden einzeln in Drahtnetz Kästchen etwa von der Grösse des Schmetterlingskörpers hineingetan, sodass die Tiere sich nicht frei bewegen konnten; die anderen drei wurden in ein bei weitem grösseres Drahtnetz Kästchen gesetzt, in dem sie frei hin und her fliegen konnten. Sobald sie sich hinsetzten, wurden sie zum Fliegen veranlasst und ständig in Bewegung gehalten. Die Kästchen standen in einem Zimmer, in dem Temperatur und Feuchtigkeit möglichst konstant gehalten (30°-32° C., 70-75%) waren. Nach fünf Stunden wurde die Wasserdampf abgabe durch Körpergewichtsbestimmung festgestellt.

Tabelle 12.

Abhängigkeit der Transpirationsgrösse von der Bewegung bei *Danaïd plexippus* L.

Beim Sitzen				Beim Fliegen			
Vers.-nummer	Körp.-gew. g.	H <sub>2</sub> O p. Tier in 5 Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.	Vers.-nummer	Körp.-gew. g.	H <sub>2</sub> O p. Tier in 5 Std. mg.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g.
I	0.2287	6.6	5.972	IV	0.2256	11.0	9.358
II	0.2191	4.4	4.016	V	0.2003	12.6	12.549
III	0.2243	6.1	5.489	VI	0.2147	10.7	9.967

Aus den so gewonnenen Zahlen wurden die Mittelwerte berechnet. Das Transpirationswasser der ruhenden Tiere betrug durchschnittlich 5.142 g., der herumfliegenden 10.625 g. (reduziert auf 1 kg. und 1

Stunde). Die beim Fliegen ausgeschiedene Wassermenge war also doppelt so gross wie beim Sitzen.

Da die Arbeitsleistung eine überreichliche Wärmeproduktion hervorruft, ist es verständlich, dass die Wasserabgabe sich bei Bewegung ähnlich gestaltet wie bei reichlicher Nahrungszufuhr.

*Zusammenfassung.* Die Intensität der Transpiration der Insekten ist während der Bewegung beträchtlich grösser als im Ruhezustand.

## VII. Beziehungen zwischen Wassergehalt und Transpiration

Wenn wir annehmen, dass die Transpiration auch bei der Regulierung des Körperwassergehaltes eine Rolle spiele, wird die Frage, ob dieser eine wichtige innere Bedingung der Transpiration sei oder nicht, in den Vordergrund treten. Die Untersuchungen von KÜNKEL (1916) haben in der Tat gezeigt, dass die Geschwindigkeit der Wasserverdunstung bei Schnecken von dem Wasservorrat des Körpers in so auffallender Weise abhängig ist, dass ein Vergleich zwischen grossen und kleinen Schnecken nur dann zulässig ist, wenn die zu vergleichenden Tiere einen relativ gleichen Wasservorrat besitzen.

Da ich die Absicht habe, die biologische Funktion der Wasserdampfausscheidung später ausführlich zu studieren, um diese Frage eingehend zu prüfen, will ich hier nur die Ergebnisse der Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Wassergehalt und Transpirationsgrösse bei *Bombyx mori* und *Saturnia pyretorum* besprechen.

Für diese Versuche sind nur Puppen benutzt worden, die für solche Zwecke sehr geeignet sind, da während der Versuchszeit die Nahrungsaufnahme ganz unterbleiben muss, damit kein Wasser von aussen in den Körper hineinkommt. Nachdem die Transpiration der Puppen durch Wägung bestimmt worden war, wurden sie im Heissluftschrank (Temperatur 100–110°C) bis zur Gewichtskonstanz eingetrocknet, worauf die Bestimmung des individuellen Wassergehaltes erfolgte.

In den beiden nachstehenden Tabellen finden sich die von mir bei Puppen von *Bombyx mori* L. und von *Saturnia pyretorum* WESTW. gewonnenen Einzelzahlen. Eine graphische Darstellung bringen die Abbildungen 5 und 6.

Tabelle 13.

Beziehungen des Wassergehaltes zur Transpiration bei Männchen und Weibchen der Bombyxpuppen. Die Transpiration wurde bei Lufttemp. von 30°C. u. 50% rel. Feucht. bestimmt.

Männchen			Weibchen		
H <sub>2</sub> O-gehalt. in % des Körpergew.	Transp. p. Tier in 1 Tag mg.	Transp. p. Kg. u. Std. g.	H <sub>2</sub> O-gehalt. in % des Körpergew.	Transp. p. Tier in 1 Tag mg.	Transp. p. Kg. u. Std. g.
80.0	9.2	0.356	77.7	11.3	0.414
80.1	12.7	0.583	73.0	12.0	0.398
80.1	12.5	0.529	78.8	13.0	0.420
80.2	22.2	0.873	79.0	11.8	0.361
80.5	22.9	0.739	79.6	14.8	0.463
80.6	14.2	0.595	79.8	17.3	0.531
80.9	14.3	0.582	80.1	11.8	0.410
80.9	14.4	0.592	80.2	12.6	0.482
81.0	16.1	0.704	80.3	19.1	0.509
81.1	9.9	0.405	80.9	10.4	0.327
81.3	12.5	0.501	81.5	11.5	0.356
81.5	19.2	0.786	82.0	20.4	0.686
82.5	22.7	0.903	82.7	20.4	0.724
83.4	18.6	0.851	83.2	31.0	1.125
83.7	22.2	1.166	84.2	33.3	1.234
84.5	21.8	1.312	85.7	49.4	1.515

Tabelle 14.

Beziehungen des Wassergehaltes zur Transpiration bei Männchen und Weibchen der Saturniapuppen. Transpiration wurde bestimmt in der Luft von Temp. 27°C. u. rel. Feucht. 65%.

Männchen			Weibchen		
H <sub>2</sub> O-gehalt. in % des Körpergew.	Transp. p. Tier in 3 Tage mg.	Transp. p. Kg. u. Tag g.	H <sub>2</sub> O-gehalt. in % des Körpergew.	Transp. p. Tier in 3 Tage mg.	Transp. p. Kg. u. Tag g.
67.1	9.3	1.600	69.1	8.7	1.057
67.7	6.7	0.976	69.2	13.1	1.103
68.4	3.7	0.729	69.3	8.3	1.159
69.5	8.3	1.186	69.5	8.0	1.143
69.5	6.0	1.158	69.6	8.5	1.287
69.6	5.5	0.815	69.6	6.2	0.894
69.7	4.9	0.833	69.7	7.3	1.008
69.8	5.3	1.188	69.9	3.6	0.514
69.9	4.6	0.749	69.9	7.5	1.094
70.0	7.9	1.218	70.0	6.3	0.992
70.4	8.3	1.389	70.0	7.8	1.078
70.5	5.1	1.125	70.3	7.8	1.061
70.6	5.7	0.938	70.5	9.6	1.294
70.8	6.6	1.032	70.6	5.4	0.709
71.0	5.7	1.148	70.6	8.1	1.119
71.1	5.4	0.939	70.7	7.9	1.226
71.1	6.0	0.863	70.9	6.5	0.911
71.2	3.8	0.673	72.0	10.5	0.912
71.5	5.5	0.682	71.5	4.7	0.664
71.8	7.1	1.321	72.0	7.7	0.793
71.8	3.4	0.645	72.2	9.0	1.288
72.0	5.2	0.933	73.2	9.0	1.328
72.2	4.2	0.699			
73.0	4.1	0.778			
73.2	4.7	0.796			



Die in den Abbildungen dargestellten Kurven sind etwas unregelmässig, so dass auf eine bestimmte Tendenz nicht ganz

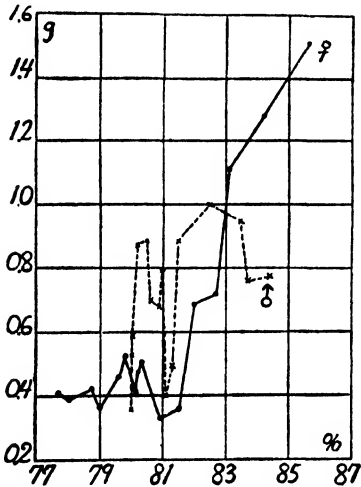


Abb. 5. Beziehungen des Körperwasserhaushaltes (Abszisse) zur Transpiration (Ordinate) bei Bombyxpuppen.

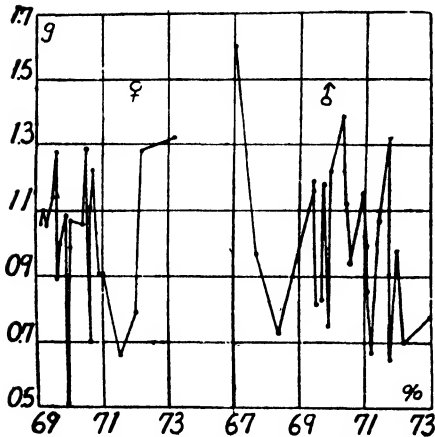


Abb. 6. Beziehungen des Körperwasserhaushaltes (Abszisse) zur Transpiration (Ordinate) bei *Saturnia pyretorum*.

sicher geschlossen werden darf, es ist aber sehr wahrscheinlich, dass die Kurven sich bei Bombyxpuppen mit der Zunahme des Wassergehalt-Prozentsatzes heben, was besonders deutlich bei den Weibchen hervortritt. Wir können deshalb sagen, dass eine positive Beziehung bei Bombyxpuppen zwischen Wassergehalt und dessen Abgabe besteht. Im Gegensatz dazu tritt keinerlei bestimmte Beziehung zwischen den beiden Faktoren bei Saturniapuppen zutage, bei denen diese Bestimmung in der Ruheperiode\* (Mitte September) ausgeführt wurde.

Ich glaube, dass der Transpirationsgrad von dem Wassergehalt abhängig ist, den die Tiere bei Beginn des Versuches besitzen. Allerdings war nach den Untersuchungsergebnissen diese Beziehung nicht ganz klar. Die Ursache hierfür ist vielleicht in der Geringfügigkeit des individuellen Unterschiedes betreffs des Wassergehaltes und

\* Die Ueberwinterungsperiode dieser Puppen erstreckt sich in Formosa von Juni bis Februar des nächsten Jahres.

in der nur wenig hervortretenden Wirkung zu suchen.

**Zusammenfassung.** Die Abhängigkeit der Transpirationsgrösse vom Wassergehalt des Körpers innerhalb ein und derselben Spezies ist etwas unklar, vielleicht wegen der Geringfügigkeit der individuellen Unterschiede in ihrem Wassergehalt und der eine sichere Feststellung erschwerenden geringen Wirkung.

### VIII. Transpirationsgrösse bei verschiedenen Insekten

Gibt es Unterschiede in der Transpirationsintensität bei verschiedenen Tierarten? D.h. besitzt jede Spezies eine spezifische Transpirationsintensität, wie wir schon mehrfach beim allgemeinen Stoffwechsel gesehen haben? Eine Tabelle, die ich nachstehend bringe, gibt Antwort auf diese Frage. Es ist selbstverständlich, dass die Transpiration in allen Fällen unter ganz gleichen äusseren Umständen und Versuchsbedingungen (Temperatur 26°C., rel. Feuchtigkeit 45%) gemessen wurde.

Tabelle 15.

Vergleich der Transpiration bei verschiedenen Insektenarten.

Spezies	Ordnung	Familie	Zahl der Tiere	Körp.-gew. g.	Transp. in 1 Std. mg.	Transp. p. Kg. u. Std. g.
Imagines						
<i>Chaetodacus cucurbitae</i> CXL.	Diptera	Trypanecidae	15	0.1693	4.8	28.352
<i>Musca domestica</i> L.	"	Muscidae	1	0.0175	0.4	22.857
<i>Pantala flavescens</i> FAB.	Odonata	Libellulidae	1	0.3859	10.2	26.431
<i>Orthetrum sabina</i> DRURY.	"	"	1	0.2070	3.3	15.942
<i>Eurema hecabe</i> L.	Lepidoptera	Pieridae	1	0.0584	2.6	44.520
<i>Precis almana</i> L.	"	Nymphalidae	1	0.1496	1.4	9.358
<i>Danaus plexippus</i> L.	"	Danaidae	2	0.3513	6.8	19.658
<i>Papilio demoleus</i> L.	"	Papilionidae	3	0.9504	27.9	29.368
<i>Polyrhachis dives</i> SMITH.	Hymenoptera	Formicidae	10	0.0611	6.3	103.109
<i>Leptoglossus membranaceus</i> FAB.	Hemiptera	Coreidae	9	0.8615	14.2	16.482

(fortgesetzt)

Spezies	Ordnung	Familie	Zahl der Tiere	Körp.-gew. g.	Transp. in 1 Std. mg.	Transp. p. Kg. n. Std. g.
<i>Huechys sanguinea</i> DEGEER	Hemiptera	Cicadidae	4	1.3254	7.0	5.282
<i>Periplaneta americana</i> L.	Orthoptera	Blattidae	1	1.2630	3.4	2.692
<i>Gastrimargus transversus</i> THUNB.	"	Acrididae	1	2.1345	22.3	10.447
<i>Oxya vicina</i> BRUN.	"	"	1	0.7697	15.0	19.488
<i>Acrida turrita</i> L.	"	"	1	0.2933	3.8	12.956
<i>Mecopoda elongata</i> L.	"	Locustidae	1	1.2810	9.9	7.728
<i>Hierodula saussurei</i> KIRBY	"	Mantidae	1	2.9315	13.5	4.605
<i>Dermestes</i> sp.	Coleoptera	Dermestidae	11	0.3124	1.4	4.481
<i>Anomala expansa</i> BATES	"	Scarabaeidae	1	1.3096	5.1	3.894
<i>Cetonia pilifera</i> MORSCH.	"	"	10	1.0680	5.2	3.100
<i>Lepisma saccharina</i> L.	Thysanula	Lepismatidae	1	0.0327	0.1	3.236
Puppen						
<i>Chaetodacus cucurbitae</i> COQ.	Diptera	Trypanidae	30	0.5638	14.1	25.008
<i>Hypha complana</i> WALKER	Lepidoptera	Callimorphidae	3	0.2827	2.0	7.074
<i>Samia atlas</i> L.	"	Saturniidae	1	11.0112	9.6	0.872
<i>Dermestes</i> sp.	Coleoptera	Dermestidae	3	0.0878	0.4	4.555
Larven						
<i>Chaetodacus cucurbitae</i> COQ.	Diptera	Trypanidae	20	0.9367	52.6	53.309
<i>Achelone trux</i> WALKER	Neuroptera	Ascalaphidae	5	1.2112	1.5	1.238
<i>Sesamia inferens</i> WALKER	Lepidoptera	Noctuidae	2	0.3645	3.4	9.327
<i>Schoenobius incertellus</i> WALKER	"	Pyralidae	7	0.5272	11.7	22.192
<i>Bombyx mori</i> L.	"	Bombycidae	10	1.8180	6.3	3.465
<i>Clania variegata</i> SNELLEN	"	Psychidae	4	9.3924	5.8	0.620
<i>Acherontia styx</i> WESTW.	"	Sphingidae	1	10.5534	65.4	6.170
<i>Exeristes albicincta</i> MORL.	Hymenoptera	Ichneumonidae	60	1.4635	4.4	3.012
<i>Dermestes</i> sp.	Coleoptera	Dermestidae	2	0.0948	0.0	0.000

Zur Beurteilung der Ursache der Verschiedenheit der Transpirationsgrösse bei verschiedenen Insektenarten müssen die im folgenden aufgezählten Faktoren in Betracht gezogen werden :

Körpergrösse, Struktur der transpirierenden Oberfläche, Aktivität, Stoffwechselintensität, Habitat, Entwicklungsstadium u. s. w.

Imagines. Die Ameisen (*Polyrhachis*) zeigen von allen untersuchten Insekten die höchste relative Transpiration. Ihre Werte sind so hoch, dass sie sich mit den bei anderen Insektenarten gefundenen Werten gar nicht vergleichen lassen. Bezüglich des Individuums zeigen die Ameisen auch eine ziemlich hohe Transpiration trotz des sehr kleinen Körpers. Als eine natürliche Folge des Oberflächengesetzes müssen also die relativen Werte, umgerechnet auf eine bestimmte Gewichtseinheit, sehr hoch sein. Diese bemerkenswert lebhaftete Transpiration der Ameisen hat zweifellos ihren Grund in der hohen Stoffwechselintensität dieser Tiere.

Die hohen Werte bei Fliegenarten (*Chaetodacus*, *Musca*) werden verständlich, wenn man die kleinen Körperdimensionen und die hohe Aktivität dieser Tiere in Betracht zieht.

Bei Libellen (*Orthetrum*, *Pantala*) und Schmetterlingen (*Eurema*, *Precis*, *Danais*, *Papilio*) finden wir auch ziemlich hohe Werte. Das Körpergewicht dieser Insekten ist sehr klein trotz der verhältnismässig grossen Dimensionen, daher kann man die reichliche Wasserabgabe wohl auf die Oberflächenvergrösserung (grosse Flügeloberfläche) zurückführen. Durch die harten und dicken Flügel wie die Oberflügel der Koleopteren und Orthopteren kann fast kein Wasserdampf passieren, aber bei Schmetterlingen und Libellen spielen die Flügel eine wichtige Rolle bei der Transpiration. Dieses Verhalten wird bei Anwendung der Kollodiummethode leicht verständlich. Bei der hohen Flugaktivität und daher auch hohen Wärmeproduktion dieser Insekten dürfte eine starke Wasserausscheidung die Regel sein.

Bei Hemipteren (*Leptoglossus*, *Huechys*) und Orthopteren (*Periplaneta*, *Gastrimargus*, *Oxya*, *Acrida*, *Mecopoda*, *Hierodula*) ist die Transpiration nicht lebhaft. Der Grund dafür ist wohl in der Beschaffenheit der Flügel und den verhältnismässig schwerfälligen Bewegungen zu suchen.

Koleopteren (*Dermestes*, *Anomala*, *Cetonia*) und Thysanuren (*Lepisma*) haben von allen hier untersuchten Insekten die niedrigste

Transpiration. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die dicke harte Chitinhaut des Koleopterenkörpers, besonders der Flügel, verhindert, dass viel Wasser abgegeben wird. Besonders interessant sind in dieser Hinsicht die xerophilen Dermestiden. An trockenen Standorten vorkommend, leben sie von trockener Nahrung. Ihr Körperwassergehalt ist daher sehr niedrig, sodass ihre ausserordentlich geringe Transpiration für die Lebenserhaltung von grosser Wichtigkeit ist (vgl. VII. Mitteilung).

Puppen. Bei Puppen konnte ich nur vier Fälle untersuchen, da es mir unmöglich war, mehr Material zu sammeln.

Die grösste Wassermenge schieden die Puppen von *Chaetodacus cucurbitae* aus, die unter der Erde an feuchten Stellen leben. Dies ist ganz selbstverständlich, weil die hygrophilen Insekten nach Versetzung in einen trockenen Raum im allgemeinen grosse Wassermengen verlieren, da sie gar keine Vorrichtungen zur Verhinderung des Wasseraustritts besitzen.

In den Puppen einer *Samia*-Art, die vielleicht die grösste absolute Körpergrösse von allen bisher in Japan gefundenen Insektenpuppen besitzt, haben wir ein einwandfreies Beispiel für die Geltung des Rubner'schen Gesetzes vor uns.

Ich hielt es für möglich, dass die Dermestespuppen, die eine dünne, zarte und weisse Haut und dazu einen sehr kleinen Körper besitzen, eine sehr hohe relative Transpiration zeigen würden, jedoch war dieses nicht der Fall. Die geringe Transpiration ist wahrscheinlich auf den kleinen Wassergehalt ihres Körpers zurückzuführen.

Larven. Von allen untersuchten Larven haben die Maden von *Chaetodacus cucurbitae*, die furchtbare minierende Schädlinge der fleischigen Früchte sind, die lebhafteste Transpiration.

Auf sie folgen Larven von *Schoenobius incertellus*, die im feuchten Hohlraum des Reishalms leben.

Die Haut dieser beiden Larvenarten ist weiss, dünn und zart, so dass sie, in trockenene Luft versetzt, durch übermässigen Wasserverlust in kurzer Zeit eingehen.

In der Luft frei lebende Lepidopterenlarven wie die von *Sesamia*,

*Bombyx*, *Clania* und *Acherontia* zeigen im Vergleich mit den oben genannten beiden Arten bei weitem niedrigere Transpirationswerte. Der Grund ist, wie im Falle von *Achelon trux*, auf die schwerfälligen Bewegungen zurückzuführen.

*Zusammenfassung.* Die wichtigsten Ergebnisse der in diesem Abschnitt behandelten Versuche über die Transpirationsgrösse verschiedener Insektenarten lassen sich wie folgt zusammenfassen.

1) Sehr kleine Insekten haben eine grössere relative Transpiration als die sehr grossen, da die Transpiration sogar bei verschiedenen Arten proportional zur Körperoberfläche wächst.

2) Bei Insekten, die grosse Aktivität, lebhaften Stoffwechsel und hohe Organisation haben, ist die Transpiration sehr ausgiebig.

3) Die Grösse der Transpiration ist sehr verschieden je nach der Körperstruktur. Insekten mit harter und dicker Haut und Flügeln transpirieren weniger als solche mit dünner und weicher Haut und mit dünnen Flügeln.

4) Hygrophile Insekten verlieren weit grössere Wasserdampf-mengen als die xerophilen. Bewohner von feuchten Standorten oder flüssige Nahrung aufnehmende Insekten verlieren mehr Wasser als die in Trockenheit oder von trockener Nahrung lebenden.

### C. ALLGEMEINE SCHLUSSFOLGERUNGEN

Da eine kurze Zusammenfassung am Schluss jedes Abschnittes gegeben ist, wollen wir hier nur die wichtigsten Punkte noch einmal hervorheben.

Die Grösse der Transpiration zeigt grosse Unterschiede je nach Gewicht oder Oberfläche des Körpers, Entwicklungsstadium, Ernährungs- oder Hungerzustand und Aktivität; auch ist sie mehr oder weniger abhängig von Geschlecht und Körperwassergehalt, nicht nur bei derselben, sondern auch bei verschiedenen Insektenarten.

Aus diesen Ergebnissen kann man meiner Ansicht nach den Schluss ziehen, dass die Wasserdampfabgabe der Insekten (vielleicht auch anderer Poikilothermen) in weitaus den meisten Fällen ein zum

grossen Teil physiologischer, von den Körperzuständen bedingter Prozess ist, der nie allein durch äussere atmosphärische Faktoren beeinflusst und reguliert werden kann.

## D. LITERATUR

- BOCK, F.: Versuche über den Gaswechsel bei Insekten und deren Bedeutung für Fragen der angewandten Entomologie. Z. angew. Entom. XVI, 357-376 (1930).
- BODINE, J. H.: Factors influencing the water content and the rate of metabolism of certain Orthoptera. J. exp. Zool. XXXII, 137-164 (1923).
- u. ORR, P. R.: Respiratory metabolism. Biol. Bull. XLVIII, 1-14 (1925).
- BUDDENBROCK, v. W.: Grundriss der vergleichenden Physiologie. Berlin (1928).
- CLARE, M. R.: A study of the oxygen metabolism in *Drosophila melanogaster*. Biol. Bull. XLIX, 440-460 (1925).
- FARKAS, K.: Ueber den Energieumsatz des Seidenspinners während der Entwicklung im Ei und während der Metamorphose. Pflügers Arch. XCVIII, 490-546 (1903).
- FINK, E. D.: Metabolism during embryonic and metamorphic development of insects. J. gen. Physiol. VII, 527-543 (1925).
- FREW, J. G. H.: Studies on the metabolism of insect metamorphosis. Brit. J. exp. Biol. VI, 205-218 (1929).
- GOLYSCHEW, N. O.: Gasaustausch bei *Bombyx mori* in allen Stadien seiner Entwicklung. Arb. zentr. Forsch.-Stat. Seide u. Seidenraupenzucht. III, 127-164 (1928). zit. n. BOCK 1930.
- HARRIS, J. A. u. BENEDICT, F. G.: A biometric study of basal metabolism in man. Carnegie Inst. Wash. Publ. (1919).
- KAWASE, S.: Studien über die Atmung von *Bombyx mori* L. Nōgaku-Kaihō (Ber. landw. Geselles. Japan). CLXXXV, 26-69 (1918, in Japanisch).
- KESTNER, O. u. PLAUT, R.: Physiologie des Stoffwechsels. in Wintersteins Handb. vergl. Physiol. II, (2), 904-906 (1924).
- KROUGH, A.: On the rate of development and CO<sub>2</sub> production of chrysalides of *Tenebrio molitor* at different temperatures. Z. allg. Physiol. XVI, 178-190 (1914).
- KÜNKEL, K.: Zur Biologie der Lungenschnecken. Heidelberg (1916).
- NÜSSLIN, O.: Beiträge zur Anatomie u. Physiologie der Pulmonaten, II. Habilitationsschrift, Tübingen (1879). zit. n. KÜNKEL.
- ŌKAWA, S.: Ueber die Körperoberfläche und Wasserverdunstung der Seidenraupen. Nat. Hyg. Japan. III, 1118-1129 (1926, in Japanisch).
- REINHARD, C.: Beobachtungen über die Abgabe von Kohlensäure und Wasserdunst durch die Perspiratio cutanea. Z. Biol. V, 28-60 (1869).
- RUBNER, M.: Die Beziehungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zur Wasserdampfabgabe. Arch. Hyg. XI, 137-242 (1890).
- SAKURAI, M.: Untersuchungen über die Verdauung der aufgenommenen Nahrung bei Seidenraupen. Japan. Jour. Sericult. I, 195-200 (1930 in Japanisch).
- SLOWTZOFF, B.: Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Hungerstoffwechsels. I. Mitt. Der Hungerstoffwechsel der Insekten. Beit. z. chem. Physiol. u. Pathol. IV, 460-475 (1903).
- TANGI, F.: Zur Kenntnis der Stoff- und Energieumsatzes holometaboler Insekten.

während der Metamorphose VI. Beitrag zur Energetik der Ontogenese. Pflügers Arch. CXXX, 1-54 (1909).

TAYLOR, I. R.: Oxygen consumption of individual pupae during metamorphosis. J. Morph. XLIV, 313-339 (1927).

TAYLOR, I. R. u. STEINBACH, H. B.: Respiratory metabolism during pupal development of *Galleria mellonella*. Physiol. Zool. IV, 604-619 (1931).

TOWER, W. L.: Observations on the changes in the hypodermis and cuticula of Coleoptera during ecdysis. Biol. Bull. X, 176-192 (1906).

WEINLAND, A.: Ueber die Stoffumsetzungen während der Metamorphose der Fleischfliege. Z. Biol. XLVII, 186-231 (1905).

WOLPERT, H.: Ueber den Einfluss der Lufttemperatur auf die im Zustand anstrengender körperlicher Arbeit ausgeschiedenen Mengen Kohlensäure und Wasserdampf beim Menschen. Arch. Hyg. XXVI, 32-67 (1896).

———: Ueber die Kohlensäure- und Wasserdampfausscheidung der Menschen bei gewerblicher Arbeit und bei Ruhe. Ebenda XXVI, 68-108 (1896).

———: Ueber den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf den Arbeitenden. Ebenda XXXVI, 203-219 (1899).





# IV. MITTEILUNG : EINFLUSS DER LUFTFEUCHTIGKEIT AUF DIE INSEKTENTRANSPIRATION

(Mit 6 Textabbildungen)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 21, 1933)

## Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung und Historisches ... ..	81
B. Material und Methode ... ..	87
C. Ergebnisse der Untersuchungen an Puppen ... ..	89
D. Quantitatives Verhältnis zwischen Luftfeuchtigkeit und Transpirationsgrösse ... ..	94
I. Mathematische Darstellung ... ..	94
II. Konstanten a und c ... ..	97
III. Transpiration in trockener Luft ... ..	100
IV. Stoffwechseländerungen und Transpirationsregu- lation ... ..	102
V. Struktur der Körperoberfläche und Transpira- tionsregulation ... ..	103
E. Ergebnisse der Untersuchungen an Larven ... ..	104
F. Zusammenfassung ... ..	105
G. Literatur ... ..	106

## A. EINLEITUNG UND HISTORISCHES

Da die Transpiration im physikalischen Sinne eine Diffusionserscheinung ist, bei der ein Ausgleich der Spannungsdifferenzen zwischen den diffundierenden Gasen stattfindet, muss vor allem die Wasserdampfspannung in dem an die Wasseroberfläche grenzenden System in Betracht gezogen werden. Es ist auch längst bekannt,

dass die atmosphärische Feuchtigkeit einen grossen Einfluss auf die pflanzliche Transpiration ausübt; sie ist auch von allen äusseren Faktoren am ausführlichsten studiert worden (s. BURGERSTEIN 1904, '20, '25, MAXIMOV 1929). Auch bei Tieren ist dieser Faktor schon von alters her verhältnismässig gut untersucht worden, besonders von deutschen Hygienikern.

WEYRICH (1862) ist vielleicht der erste, der den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die menschliche Perspiration neben anderen äusseren Bedingungen experimentell studierte, obwohl vor ihm viele ältere Beobachter wie EDWARDS, KRAUSE u.a.m. diese Frage angeschnitten haben, wie wir aus seiner Monographie wissen. Mittels einer speziellen Methode der Taupunktbestimmung der perspirierten Luft hat WEYRICH in verschiedenen Jahreszeiten die von der menschlichen Haut ausgeschiedene Wassermenge unter verschiedenen Zuständen der relativen wie absoluten Feuchtigkeit des Beobachtungsraumes (Zimmerluft) gemessen. Das Hauptergebnis seiner Ermittlungen besteht darin, dass ein Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Hautfunktion sich zwar sogar in einem geschützten Zimmer nachweisen lässt, aber so gering ist, dass er innerhalb der niederen und mittleren Feuchtigkeitsgrade hinter andere stärkere Einflüsse gänzlich zurücktritt. Ferner soll dieser Einfluss nach WEYRICH soweit von den Temperaturveränderungen beherrscht werden, dass er in der kalten Jahreszeit trotz scheinbar günstiger prozentualer Feuchtigkeitsverhältnisse gar nicht nachweisbar ist, während er in der warmen Jahreszeit deutlich zutage tritt.

Die Perspirationswerte von WEYRICH waren durch das Auflegen eines kleinen Gefässes auf die zu untersuchende Hautstelle gewonnen. Die auf diesem Wege erhaltenen Zahlen haben aber gar keine Bedeutung, denn die mit dem Gefäss bedeckten Hautbezirke haben sich infolge des fehlenden Luftaustausches nicht in dem gleichen Feuchtigkeitszustand befunden wie der Versuchsraum.

Methodisch weit vollkommener sind die Versuche von ERISMANN (1875), der die Wirkung der Luft verschiedenen Feuchtigkeitsgrades, sowie variierender Temperatur und Luftgeschwindigkeit auf die

Wasserdampfabgabe des menschlichen Armes untersucht hat. Der Arm befand sich im Inneren des Versuchsraumes eines kleinen Pettenkofer-Voit'schen Respirationsapparates. ERISMANN fand dabei, dass Änderungen der relativen Feuchtigkeit von allen aufgezählten Faktoren den bedeutendsten Einfluss auf die Wasserdampfabgabe hatten.

Wenn wir die Beziehungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zur tierischen Transpiration betrachten wollen, müssen wir in erster Linie auf die ausgezeichneten Arbeiten von RUBNER und seinen Mitarbeitern, wie WOLPERT und LEWASCHEW, Bezug nehmen. Da trotz der Tatsache, dass der Feuchtigkeitswechsel, wie andere atmosphärische Bedingungen, auf den ganzen Organismus wirkt, derartige den Gesamtorganismus betreffende Studien vollkommen fehlten, haben RUBNER und seine Mitarbeiter ganze Körper von höheren Warmblütern bzw. Menschen in das Innere des Versuchsraumes eines Pettenkofer'schen Atmungsapparates hineingesetzt und die Feuchtigkeitswirkung der durch den Apparat durchgeführten Luft auf den Gesamtorganismus sehr ausführlich und genau studiert (RUBNER 1890, RUBNER und LEWASCHEW 1897, WOLPERT 1899, 1902).

Im Jahre 1890 hat RUBNER die an Hunden und Meerschweinchen, später 1897 zusammen mit LEWASCHEW die am Menschen gewonnenen Resultate veröffentlicht. Nach diesen kommen die Schwankungen der Luftfeuchtigkeit deutlich in der Wasserverdampfung der Tiere zum Ausdruck, und diese beiden Faktoren stehen in einer ganz bestimmten quantitativen Beziehung zueinander. Die Wasserdampfabgabe wird aber nicht bloss durch die Feuchtigkeit der Atmosphäre, sondern auch durch verschiedene Körperzustände beeinflusst, woraus RUBNER schloss, dass die Transpiration keine von physikalischen Bedingungen allein abhängige Grösse, sondern in weitaus den meisten Fällen ein zu der Wärmeregulation des Körpers in enger Beziehung stehender physiologischer Vorgang ist.

Bezüglich der Wasserdampfausscheidung durch die Lunge allein gibt es einen Versuch von GALEOTTI (1912), den er an sich selbst ausgeführt hat; dieser zeigt, dass die Feuchtigkeit und Temperatur der

umgebenden eingeatmeten Luft einen gewissen Einfluss auf die ausgeatmete Wassermenge ausüben, jedoch nur, wenn es sich um Änderungen dieser beiden Faktoren über gewisse Grenzen hinaus handelt. Nach ihm nimmt der Wassergehalt der ausgeatmeten Luft beträchtlich zu, wenn sehr feuchte Luft eingeatmet wird, wenn aber die eingeatmete Luft vollständig trocken ist, nimmt die Wassermenge in der ausgeatmeten Luft etwas ab. Dies ist ein interessantes Resultat, das auf eine Regulation des Wasserverlustes durch die Lunge hinweist.

Bei Poikilothermen sind direkte Untersuchungen über dieses Thema noch spärlicher.

Bei Mollusken gibt es einen alten Versuch von NÜSSLIN (1897), der zeigt, dass die Wasserverdunstung des Pulmonatenkörpers von der Luftfeuchtigkeit abhängig ist, aber in gesättigter Luft nicht völlig sistiert wird.

Der Frosch (*Rana pipiens*) verliert nach der Untersuchung von ADOLPH (1932) bei Verdunstung Wassermengen, die annähernd umgekehrt proportional zur relativen Feuchtigkeit der Atmosphäre sind.

In Hinsicht auf die Insekten hat sich BUXTON in den letzten Jahren mit diesem Problem befasst. Im Jahre 1930 bestimmte er die Gewichtsabnahme des hungernden Mehlwurmes, *Tenebrio molitor* L., unter verschiedenen Feuchtigkeiten und Temperaturen der umgebenden Luft während eines ganzen Monats. Dabei handelte es sich um reine Wasserverdunstung, denn der Gewichtsverlust war nur auf den Wasserverlust zurückzuführen. Die Wasserevaporation des Mehlwurmes ist grösser in trockener Luft als in feuchter Umgebung, ist aber nicht zur relativen Feuchtigkeit, sondern zum Wasserdampf-sättigungsdefizit der Luft proportional. Diese Gesetzmässigkeit gilt aber nur für einen bestimmten Variationsraum der Sättigungsdefizitwerte; bei sehr feuchter oder sehr trockener Luft gilt diese Beziehung nicht. BUXTON schrieb die Ursache dieser Abweichung ausserhalb der Behaglichkeitsgrenzen der Selbstregulierung des Wasserverlustes durch die Tiere mittels Änderungen im Öffnungs-

zustand der Stigmen und in der Stoffwechselintensität zu. BUXTON ist also der Ansicht, dass die Wasserevaporation der Insekten eine kompliziertere Erscheinung ist, als man vielleicht von vornherein annehmen würde, so dass sie keine nur aus der physikalischen Wasserverdunstung abgeleitete Erklärung erlaubt.

Im folgenden Jahre zog der gleiche Autor aus den Daten vieler Forscher über die Lebensdauer verschiedener Insekten bei verschiedener Luftfeuchtigkeit denselben Schluss, dass also der Wasserverlust der Insekten innerhalb eines gewissen Temperaturintervalles dem Sättigungsdefizit der Luft proportional anwächst. Er schlägt den Tierökologen vor, das Wort "Saturation deficiency" zu benutzen, anstatt der Umschreibung "Combined effect of temperature and humidity."

Drei mit der Auffassung Buxtons im Einklang stehende Untersuchungen können wir in neuerer Zeit in einer vorläufigen Mitteilung von GUNN (1931) über eine Küchenschabe, *Blatta orientalis*, und in zwei Mitteilungen von MELLANBY (1932 a u. b) über eine Bettwanze, *Cimex lectularius*, finden.

Vor einigen Jahren habe ich (1929) die quantitative Beziehung zwischen Insektenentwicklung und atmosphärischer Feuchtigkeit erörtert. Ich konnte zeigen, dass die graphische Darstellung der Entwicklungsgeschwindigkeit von *Bruchus obtectus* (Daten von HEADLEE 1921) und von *Carpocapsa pomonella* (Daten von SHELFORD 1927) in ihrer Beziehung zur relativen Luftfeuchtigkeit ihren Ausdruck in einer Linie findet, die man als einen Teil einer hyperbolischen Kurve charakterisieren kann. Die Beziehung ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$K = \frac{100}{D \cdot E(100 - H) + b} \dots\dots\dots 1,$$

wobei K die relative Entwicklungsgeschwindigkeit, H die relative Luftfeuchtigkeit, E den Maximalwasserdampfdruck bei der während der Entwicklungszeit herrschenden Temperatur, D eine für die morphologischen wie physiologischen Zustände der Insekten und

andere äussere Bedingungen wie Temperatur, Druck, Windgeschwindigkeit, Licht, u. s. w. charakteristische Konstante, und  $b$  den theoretischen reziproken Wert der Entwicklungsgeschwindigkeit (Entwicklungsdauer) bei wasserdampfgesättigter Luft darstellt. In dieser Formel bedeutet  $E(100-H)$  das Sättigungsdefizit für Luftwasserdampf, denn aus der Formel:

$$H = \frac{e}{E} \times 100,$$

in der  $e$  die Spannung des in der Luft schon vorhandenen Wasserdampfes bedeutet, folgt die Formel:

$$E(100-H) = E\left(100 - \frac{e}{E} \times 100\right) = 100(E-e).$$

Aus dieser Formel ist ohne weiteres ersichtlich, dass die Geschwindigkeit der Insektenentwicklung umgekehrt proportional zum Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft zunimmt. Diese Gesetzmässigkeit gilt aber nicht bei extrem hohen resp. niederen Temperaturen wegen physiologischer Änderungen der Stoffwechselintensität oder anderer aktiver Regulationseinrichtungen der Insekten zum Verhüten des Wasserverlustes.

Ich vermutete, dass die wahrscheinlichste Ursache für solche Spannungsdefizitabhängigkeit des Insektenwachstums in den Wirkungen der Wasserdampfabgabe der Tiere bestehe, da zwischen physikalischer Wasserverdunstung und Sättigungsdefizit eine direkte Proportionalität existiert, wie schon DALTON zeigte.

Damals aber konnte ich über die für meine Vermutung wichtigste Frage, ob die Grösse der Wasserdampfabgabe der Insekten selbst sich nach der Dalton'schen Regel richte, keine exakten Versuche machen. Um das Versäumte nachzuholen, habe ich später über die quantitative Relation zwischen Transpirationsgrösse der Insekten und relativer Feuchtigkeit der Luft Versuche angestellt, über die im folgenden berichtet wird.

## B. MATERIAL UND METHODE

Die Versuche führte ich meistens an weiblichen Puppen von *Milionia zonea* MOORE (Geometridae: Lepidoptera) aus; das Puppenstadium ist für derartige Versuche besonders gut geeignet, da während dieser Zeit Nahrungsaufnahme und Kotentleerung vollkommen unterbleiben und die Körperbewegung auf ein Mindestmass herabgesetzt ist. Das Larvenstadium habe ich aber herangezogen, um die Resultate an Puppen zu bestätigen und zu stützen, wobei ich Larven von *Clania variegata* SNELLEN verwendet habe.

An dieser Stelle will ich nur die Methodik der Puppenversuche beschreiben. Zuerst waren meine Versuche auf die Frage gerichtet, ob die Tiere Schutzeinrichtungen zur Verhütung eines zu starken bzw. zu geringen Wasserverlustes haben, die je nach der Feuchtigkeit der umgebenden Luft in Funktion treten. In Bezug auf diesen Punkt hat BUXTON (1930) folgende Meinung geäußert: "We must remember the possibility that the insect can control loss of water from the tracheal system by closing the spiracles through which the tracheal tubes communicate with the outside air. Furthermore the general metabolism of the insect may be affected by the moisture or dryness of the atmosphere in which it is living." Davon ausgehend habe ich folgenden Versuchsplan entworfen.

Drei Arten von Transpiration wurden gleichzeitig bestimmt, nämlich:

a. Gesamte Transpiration lebender Puppen. Hierbei handelt es sich um die gesamte Wasserdampfabgabe durch alle Stigmenöffnungen und die gesamte Hautoberfläche

b. Transpiration toter Puppen. Puppen wurden durch Kontakt mit Blausäuregas in 1 Stunde getötet (einstündiger Kontakt genügt für ihre Abtötung), und die Wasserverdunstung wurde gemessen, gleich nachdem sie mit dem Gas in Berührung gekommen waren.

c. Transpiration von auf allen Stigmenöffnungen vaselinieren Puppen. In diesem Versuch war die spirakuläre Transpiration vollkommen unterbunden und nur die kutikuläre möglich.



Durch einen Vergleich der bei den drei oben genannten Transpirationen in verschiedener Luftfeuchtigkeit erhaltenen Werte können wir uns über die Transpirationsregulation und ihr Wesen orientieren. Da bei der Evaporation toter Puppen physiologische Regulation nicht in Betracht kommt, können wir aus dem Vergleich der Feuchtigkeitsabhängigkeit dieser Dampfabgabe mit der bei der normalen Transpiration festgestellten Schlüsse auf das Vorhandensein einer Regulation bei normalen Puppen ziehen. Ferner muss aus dem Vergleich der kutikulären Transpiration mit der normalen die Rolle der Stigmen und der Kutikula bei einer eventuellen Regulation hervorgehen. Zuletzt müsste der Vergleich zwischen toten und lebenden, normal transpirierenden Puppen zeigen, ob eine Regulation durch den Einfluss von Stoffwechseländerungen vermittelt wird, wie BUXTON annimmt.

20-30 abgezählte Puppen wurden bei jedem Versuche in ein Hygrothermostat gebracht, welches den Vorzug hatte, dass Lufttemperatur und Feuchtigkeit innerhalb der geringsten Schwankungen beliebig reguliert werden konnten. Temperaturschwankungen betrugen  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . und die der relativen Feuchtigkeit  $\pm 1\%$ . Die Wasserdampf-abgabe wurde durch die Wägung der einzelnen Versuchstiere ermittelt. Die Versuchsdauer betrug in der Regel 3 Stunden, nur bei  $25^{\circ}\text{C}$ . erstreckte sie sich auf 5 Stunden. Dieser Unterschied in der Versuchsdauer sollte zeigen, ob das Regulationsvermögen sich mit der Versuchsdauer verändert. In der Tat nimmt die Transpiration bei vielen sehr trockener Luft ausgesetzten Insekten im Laufe der Zeit ab\*. Es kann daher der Vergleich derartiger Versuche mit solchen, bei denen die absoluten Transpirationswerte innerhalb anderer Versuchsdauer gewonnen wurden, nicht direkt auf Grund relativer Transpiration (reduziert auf eine bestimmte Zeiteinheit) gemacht werden.

Ich gebrauchte die Skala der "relativen Feuchtigkeit" für die Darstellung der Feuchtigkeitsgrade der Versuchsluft, denn diese wird häufiger verwendet und ist auch leichter verständlich als andere

---

\* Siehe VII. Mitteilung dieser Serie.

Darstellungsweisen wie "Absolute Feuchtigkeit" und "Sättigungs- oder Spannungsdefizit". Zur Feuchtigkeitsmessung diente das Lambrecht'sche Haarhygrometer.

In dem Versuchsraum des Hygrothermostats wurde durch ein Elektrogebläse eine stete Luftbewegung von bestimmter Geschwindigkeit erzeugt, um eine allmähliche Dunstsättigung der Luftschicht in der Nähe der Versuchstiere durch den von den Tierkörpern verdunsteten Wasserdampf zu vermeiden. Die Luftstromgeschwindigkeit betrug immer nur ca. 200 mm. pro Sekunde, so dass sie keine Verdunstungssteigerung verursachen konnte.

### C. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN AN PUPPEN

Die gewonnenen Resultate an Miloniapuppen wurden auf 1 kg. Körpergewicht und 1 Stunde umgerechnet. Die mittleren, maximalen und minimalen Werte sind in nachstehenden 5 Tabellen angegeben; in den Kurven der Abbildungen 1-5 sind nur die Mittelwerte graphisch dargestellt.

Tabelle 1-5.

Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration der Puppen von *Milonia zonea* MOORE. H relative Feuchtigkeit, E-e Sättigungsdefizit.

Tabelle 1, bei 10°C. (konstant).

H %	E-e mm Hg.	Gesamte Transp. p. Kg. u. Std. mg.			Transp. n. d. Tode p. Kg. u. Std. mg.			Kutik. Transp. p. Kg. u. Std. mg.		
		Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.
35	5.99	640.1	775.3	544.8	1231.6	1495.2	1111.5	197.2	312.4	179.4
40	5.53	623.5	786.9	522.7	1148.7	1236.0	1009.7	195.6	312.5	148.0
55	4.14	460.6	676.0	395.5	838.0	1005.8	753.3	104.9	241.7	98.5
65	3.22	446.1	589.0	322.9	638.1	790.2	435.8	143.5	258.2	99.9
75	2.30	300.1	458.0	235.8	501.5	618.2	222.9	142.0	267.6	113.1
90	0.92	189.3	405.9	132.3	272.9	410.8	128.3	29.5	106.9	18.7

Tabelle 2, bei 15°C. (konstant).

H %	E-e mm Hg.	Gesamte Transp. p. Kg. u. Std. mg.			Transp. n. d. Tode p. Kg. u. Std. mg.			Kutik. Transp. p. Kg. u. Std. mg.		
		Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.
35	8.31	896.1	1286.5	635.2	2451.6	2345.1	1986.7	659.7	694.4	610.6
40	7.67	728.2	926.4	585.0	2104.8	2633.0	1977.0	491.2	573.7	477.9
50	6.40	782.9	1153.6	686.5	2001.4	2203.5	2000.0	495.1	535.0	318.6
65	4.48	563.1	632.4	494.3	1264.4	1516.7	1183.3	370.1	525.4	374.5
80	2.56	486.1	611.5	401.1	1167.8	1425.5	1094.7	232.8	281.9	141.0
85	1.92	485.3	587.5	408.2	1058.1	1111.3	967.7	211.4	279.7	182.3

Tabelle 3, bei 20°C. (konstant).

H %	E-e mm Hg.	Gesamte Transp. p. Kg. u. Std. mg.			Transp. n. d. Tode p. Kg. u. Std. mg.			Kutik. Transp. p. Kg. u. Std. mg.		
		Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.
35	11.40	1486.9	1652.7	1328.2	3473.1	3708.4	3341.3	700.0	846.7	658.3
40	10.52	1623.8	1831.9	1461.5	3434.8	3496.3	3407.9	589.6	746.5	460.1
55	7.89	1267.9	1483.8	1055.1	2725.3	2902.4	2630.7	531.4	693.0	617.2
70	5.26	788.9	912.8	700.0	2013.9	2223.1	2001.2	338.9	581.7	301.7
80	3.51	779.4	957.4	630.5	1833.4	1968.5	1778.8	405.1	457.9	351.8
85	2.63	811.7	894.0	702.7	1907.6	1987.0	1760.2	341.2	497.5	263.9
95	0.88	481.7	587.5	408.2	890.1	1039.8	668.1	219.2	356.8	183.1

Tabelle 4, bei 25°C. (konstant).

H %	E-e mm Hg.	Gesamte Transp. p. Kg. u. Std. mg.			Transp. n. d. Tode p. Kg. u. Std. mg.			Kutik. Transp. p. Kg. u. Std. mg.		
		Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.
35	15.44	685.1	784.2	583.5	3641.6	3834.9	3461.5	751.0	943.8	532.8
40	14.26	918.8	1025.1	823.5	3662.5	3831.9	3490.5	612.4	837.7	537.0
50	11.88	1021.0	1098.8	983.9	3132.0	3375.4	3035.7	625.3	709.2	423.6
60	9.50	1222.3	1480.5	1079.1	2627.1	2904.4	2357.0	543.8	744.8	432.1
70	7.13	1245.1	1455.7	1116.5	2338.1	2615.9	2105.5	451.2	600.1	430.4
85	3.80	817.8	947.1	663.6	1193.9	1403.2	943.8	409.5	645.3	201.2
95	1.43	556.4	639.4	508.9	976.9	1106.4	810.0	174.3	341.2	991.7

Tabelle 5, bei 30°C. (konstant).

H %	E-e mm Hg.	Gesamte Transp. p. Kg. u. Std. mg.			Transp. n. d. Tode p. Kg. u. Std. mg.			Kutik. Transp. p. Kg. u. Std. mg.		
		Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.	Mit.	Max.	Min.
40	19.09	2781.6	3052.1	2311.7	6484.7	9006.7	4017.2	1723.9	2267.1	1356.8
45	17.50	3074.5	3389.4	2565.4	6179.2	8837.5	4312.7	1584.3	1647.7	1290.0
70	9.55	1529.7	1639.2	1449.6	3704.1	4675.5	2614.3	1102.3	1235.7	1055.0
75	7.96	1591.2	1794.3	1364.9	3524.6	5433.9	3229.4	863.0	997.2	712.3
85	4.77	1032.5	1157.5	1000.5	1704.2	3358.4	1794.3	745.6	988.9	543.8
95	1.59	586.0	670.1	491.0	1329.0	1944.3	1522.0	459.7	651.6	323.4

Gesamte Transpiration. Die Schwankungen der relativen Feuchtigkeit der Luft drücken sich am deutlichsten in der gesamten Transpiration der lebenden Puppen aus, die die Wasserdampfabgabe

Abbildung 1-2.

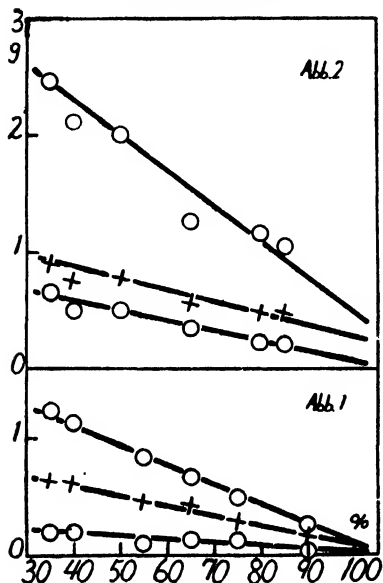


Abbildung 3.

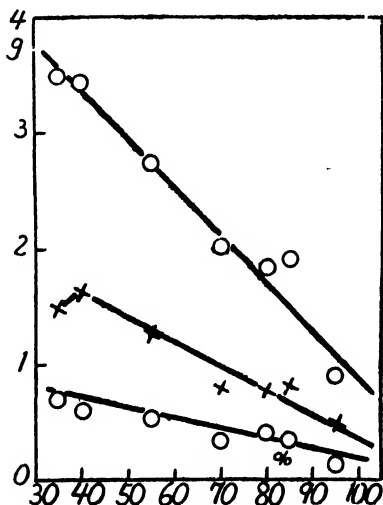


Abb. 1-5. Einfluss der Luftfeuchtigkeit (Abszisse) auf die Transpiration (Ordinate) der Millionipuppen bei konstanten Temperaturen von 10° (Abb. 1), 15° (Abb. 2), 20° (Abb. 3), 25° (Abb. 4) und 30°C. (Abb. 5). × stellt die gesamte Transpiration der lebenden Puppen, ○ (oben) Wasserverdunstung nach dem Tode und ○ (unten) die kutikuläre Transpiration dar.

durch alle Stigmenöffnungen und die gesamte Hautoberfläche umfasst.

Die gesamte Transpiration fällt oder steigt mit zunehmender bzw. abnehmender relativer Feuchtigkeit in solcher Weise, dass bei der Eintragung in ein rechtwinkliges Koordinatensystem die Werte für die Transpiration auf einer geraden Linie zu liegen kommen. Es muss aber erwähnt werden, dass solche Beziehungen nur bei verhältnismässig niederen Temperaturen nachweisbar sind, während sie bei höheren

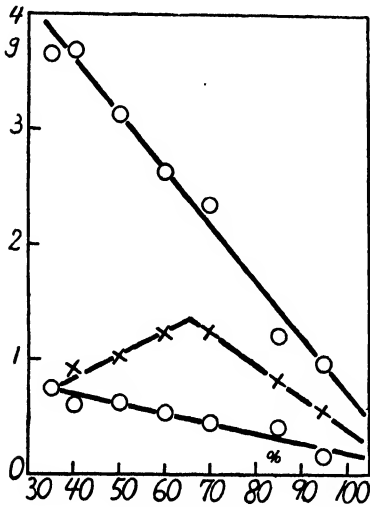


Abbildung 4.

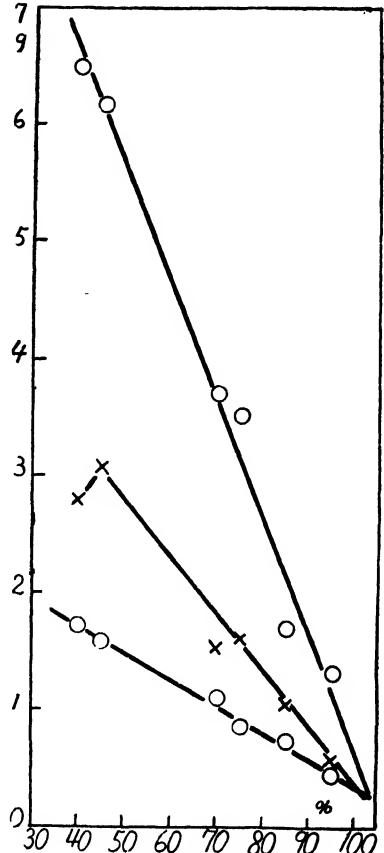


Abbildung 5.

Temperaturen wie 20°, 25° und 30°C. und bei trockener Luft nicht bestehen. Bei niederen Feuchtigkeiten und höheren Temperaturen wächst die Transpiration nicht mit der Feuchtigkeitsabnahme proportional, sondern sinkt allmählich mit zunehmender Trockenheit; die Kurve richtet sich daher unterhalb eines gewissen Feuchtigkeitsgrades nach abwärts. Bei 20°C. ist die Transpirationskurve eine Gerade zwischen den Feuchtigkeitswerten 95 bis 40%, aber bei 35% ist die Transpiration geringer als bei 40%, die Kurve fällt also. Bei

der Temperatur von 25°C. und Versuchsdauer von 5 Stunden wird die Behaglichkeitszone der Tiere übertreten und die Geradenbeziehung besteht nur innerhalb sehr enger Grenzen. Die ansteigende Linie biegt sich mit abnehmender Feuchtigkeit schon von relativer Feuchtigkeit von 65% angefangen immer mehr und mehr nach unten. Bei 30°C. findet man die Proportionalität nur zwischen 95% und 45% Feuchtigkeit.

Aus Tabelle 6 ist das Feuchtigkeitsintervall zu ersehen, innerhalb dessen alle Transpirationswerte in eine Gerade fallen, und die Feuchtigkeitszone, bei welcher die Linie sich nach unten krümmt.

Tabelle 6.

Behaglichkeitszone und Krümmungspunkt der Transpirationsgeraden bei lebenden Milioniapuppen.

Temp. °C.	Untersuchtes Feucht.intervall. %—%	Zeitdauer d. Versuches Std.	Behaglichkeits- zone %—% R. F.	Krümmungspunkt %—% R. F.
10	90—35	3	90—35	Keiner od. unter 35%
15	85—35	3	85—35	„ od. „
20	95—35	3	95—40	40—35
25	90—35	5	90—70	70—60
30	95—40	3	95—45	45—40

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Punkte, von denen ab die Transpiration sinkt, die Tendenz haben, sich nach um so höheren relativen Feuchtigkeiten zu stellen, je höher die Versuchstemperatur und je länger die Versuchsdauer ist. Diese Ansicht ist aber nur richtig, soweit sie die relative Feuchtigkeit betrifft. Wenn wir das Sättigungsdefizit als den wahren Massstab des Trockenheits- bzw. Feuchtigkeitsgrades der Luft annehmen, fällt die Beziehung etwas anders aus. Einzelheiten bringt der Abschnitt "Transpiration in trockener Luft" (s. S. 100).

Evaporation toter Puppen. Bei dieser Evaporation ahmte ich die physikalische Wasserverdunstung aus unbelebten Körpern nach. Wie die Abbildungen 1–5 zeigen, ist diese Evaporation durchaus eine

Funktion der relativen Luftfeuchtigkeit innerhalb des untersuchten Intervalles; Krümmungspunkte findet man bei keiner Temperatur.

Kutikuläre Transpiration. Die Feuchtigkeitsabhängigkeit der kutikulären Transpiration steht in vollkommenem Einklang mit der Verdunstung toter Puppen.

## D. QUANTITATIVES VERHÄLTNIS ZWISCHEN LUFTFEUCHTIGKEIT UND TRANSPIRATIONSGRÖSSE

### I. Mathematische Darstellung

Wie in der Einleitung erwähnt, ist der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die tierische wie pflanzliche Transpiration verhältnismässig ausführlich untersucht worden, leider sind die bisherigen Untersuchungen grösstenteils qualitativer Natur. Quantitative Untersuchungen sind aber von grösster Wichtigkeit, wenn es sich darum handelt, die Abhängigkeit der Transpiration von der Luftfeuchtigkeit in ihrem Wesen zu erfassen.

Nach dem Dalton'schen Satz ist die in einer bestimmten Zeit von einer freien Oberfläche verdampfte Wassermenge proportional zu dem Unterschiede zwischen dem Maximum des Dampfdruckes (bei der gegebenen Temperatur der Wasseroberfläche) und der Spannkraft des in der Luft schon vorhandenen Wasserdampfes. Bezeichnen wir die Verdunstungsmenge mit  $V$ , den Maximaldampfdruck an der Wasseroberfläche mit  $E$ , die schon vorhandene Dampfspannung mit  $e$ , die Zeit mit  $z$  und den Proportionalitätsfaktor mit  $A$ , so ist die Verdampfungsgeschwindigkeit:

$$\frac{dV}{dz} = A(E - e).$$

Es ist sehr natürlich, dass die Biologen ihre Transpirationsresultate mit diesem Gesetz vergleichen.

LECLERC (1883) war wohl der erste, der diese quantitative Beziehung bei der pflanzlichen Transpiration erörterte. Er teilt mit, dass die Transpiration der Roggen- und Weizenpflänzchen eine

Funktion der Luftfeuchtigkeit ist und sich durch folgende Formel darstellen lässt :

$$E=a(F-f)+c.$$

In dieser ist mit  $a$  der Transpirationsquotient bezeichnet, mit  $F$  das entsprechende Maximum der Dampfspannung bei der während des Versuches herrschenden Temperatur, mit  $f$  die tatsächliche Tension des Wasserdunstes und mit  $c$  eine Konstante. Diese Formel entspricht dem Gesetz von DALTON, wir können deshalb sagen, dass der Leclerc'sche Befund damit übereinstimmt, was wir bei physikalischer Verdunstung kennen gelernt haben.

WOLLNY (1898) fand, dass die pflanzliche Transpiration in einem engeren Verhältnis wächst als der reziproke Wert der Luftfeuchtigkeit, was sich daraus erklären liesse, dass bei Pflanzen in trockener Luft verschiedene Schutzeinrichtungen gegen zu starke Verdunstung in Funktion treten.

Um die Änderung der Spaltöffnungsweite auszuschliessen (und die Regulation durch Spaltöffnungen zu vermeiden), rieb DARWIN (1914) die Unterseite der hypostomatischen Blätter von *Prunus laurocerasus* mit Kakaofett oder Vaseline ein. Zur Herstellung der Kommunikation zwischen Interzellularen und Aussenluft verletzte er die Blätter mit Nadel, Messer oder Schere und bestimmte die verdampfte Wassermenge in verschiedener Luftfeuchtigkeit. Die graphische Darstellung seines Resultates gegen die relative Luftfeuchtigkeit zeigte, dass die Verbindungslinie der so erhaltenen Punkte nur wenig von einer Geraden abweicht.

Die Diskussion eines russischen Meteorologen, SRESNEVSKI (1905), ist von solcher Bedeutung, dass sie hier auf keinen Fall unberücksichtigt bleiben darf; leider waren mir seine Originalangaben nicht zugänglich. Wenn das Sättigungsdefizit der Luft für Wasserdampf entweder sehr gross oder im Gegenteil sehr klein ist, nimmt nach seinen Untersuchungen die Transpiration der Pflanzen oder Menschen nicht so schnell bzw. so langsam zu, wie man nach dem Dalton'schen Gesetz erwarten würde; dieses gilt daher nur innerhalb eines sehr kleinen Intervalles des Spannungsdefizits. Die Ursache hiervon sucht



SRESNEVSKI in der porösen Beschaffenheit der verdunstenden Oberfläche der Organismen, d. h. in den konkaven Flächen des Wassermeniskus jedes einzelnen Pörchens. Da die Konkavität des Wassermeniskus mit der Zunahme des Sättigungsdefizits wächst und die Dampfspannung über konkaven Flächen nach THOMPSON kleiner ist als über ebenen, gilt das Dalton'sche Gesetz, das auf der Verdunstung aus absolut ebenen Flächen beruht, nicht ohne weiteres für solche Transpiration. Das Ergebnis Sresnevskis zeigt, dass die Organismen ausser einer physiologischen Regulation eine physikalische besitzen.

Die Beziehung zwischen dem Feuchtigkeitsgrad der Luft und der Wasserdampfausscheidung der Tiere wurde quantitativ zuerst von RUBNER (1890) erfasst. Er führte eine neue Benennung des Wassergehaltes der Luft, "Relative Trockenheit", ein, die anzeigt, wieviel Wasserdampf die Luft bis zur völligen Sättigung noch aufnehmen kann. Aber dieser Begriff ist nichts anderes als das Sättigungsdefizit; es ergibt sich nämlich die relative Trockenheit unmittelbar aus der relativen Feuchtigkeit, wenn man die letztere von 100 abzieht. RUBNER bewies eine direkte Proportionalität zwischen Wasserdampfabgabe des Hundes bzw. des Meerschweinchens und der relativen Trockenheit der Luft bei gleichbleibender Temperatur. Später bestätigte er mit LEWASCHEW (1897) sein Ergebnis durch Versuche am Menschen.

In Hinsicht auf die quantitative Beziehung zwischen Insekten-transpiration und Sättigungsdefizit habe ich schon die Untersuchungen von BUXTON und GUNN erwähnt. Leider sind ihre Daten nicht ausführlich genug, um die Aufstellung mathematischer Formeln zu erlauben.

Die Abbildungen 1-5 bringen viele Kurven, die eine regelmässige, geradlinige, mit der Zunahme der relativen Feuchtigkeit parallel gehende Abnahme der transpirierten Wassermenge von lebenden, getöteten und auf den Stigmen mit Vaseline eingeriebenen *Milionia*-puppen zeigen. Aus diesen Kurven gewinne ich die Gleichung:

$$V = a \cdot E(100 - H) + c \dots \dots \dots 2$$

V ist die in einer bestimmten Zeit verdampfte Wassermenge, E der Maximalwasserdampfdruck der Versuchsluft bei gegebener Versuchstemperatur, h die relative Luftfeuchtigkeit, a und c Konstanten. In dieser Formel entspricht  $(100-H)$  der sogenannten relativen Trockenheit von RUBNER, und  $E(100-H)$  stellt das Sättigungsdefizit dar, denn

$$H = \frac{e}{E} \cdot 100$$

und

$$E(100-H) = 100(E-e).$$

So können wir im allgemeinen mit Recht sagen, dass die Insektentranspiration entsprechend dem Sättigungsdefizitgesetz von DALTON zu- bzw. abnimmt.

Bei einer derartigen Verallgemeinerung dürfen aber verschiedene Einschränkungen nicht ausser Acht bleiben, worauf ich unter den folgenden vier Überschriften näher eingehen möchte.

## II. Konstanten a und c

Konstante a. In der Formel 2 stellt die Konstante a den Transpirationsquotienten dar. a lässt sich aus der Formel

$$a = \frac{V-c}{100(E-e)}$$

errechnen, die dem Verdunstungsquotienten der Dalton'schen Formel entspricht. In dieser ist

$$K = \frac{V}{E-e}^*.$$

\* Es muss bemerkt werden, dass die Berechnung des biologischen Transpirationsquotienten aus der Formel

$$a = \frac{V}{E-e}, \text{ d.h. } \frac{\text{Transpiration}}{\text{Sättigungsdefizit}}$$

ganz unrichtig ist, weil die biologische Transpirationsformel immer eine Konstante c besitzt, die die Transpiration bei völliger Luftsättigung darstellt. Vor allem können lebende Organismen in einem Raum, in welchem das Sättigungsdefizit gleich Null ist, noch Wasserdampf abgeben. Wir müssen demnach die Formel

$$a = \frac{V-c}{E-e}$$

bei der biologischen Transpiration gebrauchen. In Bezug auf diesen Punkt haben BUXTON (1930) und MELLANBY (1932 a u. b) einen Irrtum begangen, indem sie den Evaporationsquotienten der Insekten aus

$$\frac{\text{Loss of body weight (Evaporation)}}{\text{Saturation deficiency}}$$

berechnet haben.

Der Wert von  $a$ , nach welchem das Gefälle der Transpirationskurve bestimmt wird, ist je nach verschiedenen Versuchsbedingungen verschieden. Vor allem beeinflusst die Temperatur diesen Wert in hohem Grade. Die nachstehende Tabelle gibt die Werte von  $a$  bei verschiedenen Versuchstemperaturen an; der Versuch bei  $25^\circ$  ist in Klammern angegeben, da hier die Versuchsdauer abweichend war.

Tabelle 7.

Wert des Transpirationsquotienten  $a$ .

Temperatur	Wert von $a$		
	Transp. n. d. Tode	Gesamte Transp	Kutik. Transp.
10	0.0013	0.0009	0.0002
15	0.0025	0.0007	0.0005
20	0.0021	0.0011	0.0004
(25)	(0.0020)	(0.0011)	(0.0004)
30	0.0032	0.0015	0.0007

Aus dem soeben durchgeführten Vergleich ergibt sich dass der Wert des Transpirationsquotienten mit steigender Temperatur wächst, also eine Funktion der Temperatur ist. Daraus ergeben sich folgende Überlegungen.

Wenn die Sättigungsdefizitwerte auch ganz gleich sind, ist die Transpirationsgrösse je nach der Temperatur verschieden. Würde die Temperatur nicht auf die Transpiration einwirken, dann müsste die Konstante  $a$  immer einen bestimmten Wert haben. Dass der Wert von  $a$  bei höherer Temperatur grösser ist als bei niederer, zeigt, dass das Gefälle der Sättigungsdefizittranspirationskurve bei höherer Temperatur steiler ist als bei niederer, auch bei gleicher Anfangshöhe. Daraus folgt, dass bei ein und demselben Spannungsdefizit die Transpiration bei höherer Temperatur grösser ist als bei niederer.

Der Wert von  $a$  ist noch von verschiedenen anderen Bedingungen abhängig, nämlich sowohl von äusseren Faktoren, wie Lichtintensität,

Bewegung und Druck der Luft, als auch von den Körperzuständen selbst.

Aus diesen Gründen unterliegt es keinem Zweifel, dass die von mir gefundene Transpirationsgleichung nur dann gültig ist, wenn die oben angegebenen Bedingungen genau festgelegt sind.

Konstante c. Bei der physikalischen Wasserverdunstung hat das Dalton'sche Gesetz keine Konstante c, die die verdampfte Wassermenge in dem mit Wasserdampf gesättigten Raum darstellt. Bei der biologischen Transpiration hingegen ist der Wert c durchaus nicht gleich Null. Zahlreiche Versuche haben gezeigt, dass Pflanzen in dunstgesättigter Luft Wasserdampf abzugeben vermögen, in Mengen, die unter Umständen nicht ganz unbedeutende Werte darstellen (s. Burgerstein'sche Monogr. Teil 1). Meine Daten über Insektentranspiration weisen auf dasselbe hin, wie folgende Berechnung zeigt. Die in der Tabelle aufgeführten Zahlen geben an, wieviel Gramm Wasserdampf 1000 g. Tiere in einer Stunde bei relativer Luftfeuchtigkeit von 100% verlieren.

Tabelle 8.

Wert der Konstanten c.

Temperatur	Wert von c (g)		
	Transp. n. d. Tode	Gesamte Transp.	Kutik. Transp.
10	0.1100	0.0959	0.02'5
15	0.5655	0.2760	0.1000
20	0.8216	0.3653	0.1875
(25)	(0.6825)	(0.4300)	(0.1721)
30	0.5323	0.3937	0.1745

Wie wir bei der Konstanten a fanden, steigen die Werte der Konstanten c gleichfalls mit der Temperatur.

Betreffs der tierischen Transpiration besitzen wir leider bis heute keine experimentellen Untersuchungen darüber, ob die Tiere in einer mit Wasserdunst gesättigten Atmosphäre noch Wasser abgeben können. Soviel ich weiss, sprechen nur NÜSSLIN und ADOLPH bei

ihren Austrocknungsversuchen mit *Arion empiricorum* (Nacktschnecke) und *Rana pipiens* (Frosch) die Meinung aus, dass die Verdunstung in gesättigter Luft nicht sistiert wird.

Die Konstante  $c$  stellt den zweiten Unterschied zwischen der biologischen Transpirationsgleichung und dem Dalton'schen Gesetz dar.

### III. Transpiration in trockener Luft

Bekanntlich haben sich bei Pflanzen Schutzeinrichtungen mannigfacher Art gegen einen zu starken oder zu schnellen Wasserverlust durch Transpiration bei sehr trockener Luft entwickelt. Dass das Gleiche auch mit dem Wasserverlust der Insekten der Fall ist, ist bis jetzt allgemein angenommen worden. In der Literatur liegen jedoch nur spärliche direkte experimentelle Ermittlungen über diese Frage vor; darüber, auf welchem Wege die Regulation stattfindet, haben wir nur ganz mangelhafte Kenntnisse, wenn wir von der schon erwähnten Untersuchung von BUXTON bei Tenebriolarven absehen. Aus dem Vergleich der drei oben eingehend besprochenen Versuchsserien geht einwandfrei hervor, dass die steigenden Kurven der gesamten Transpiration lebender Puppen in einigen Fällen mit abnehmender Feuchtigkeit, von gewissen Feuchtigkeitswerten an, heruntergehen, während die Kurven der kutikulären Transpiration und der Transpiration von toten Puppen in keinem einzigen Fall dieses Verhalten zeigen. Daraus ist ohne weiteres ersichtlich, dass normale gesunde Puppen irgend eine Art von Transpirationsregulation besitzen, die einen zu grossen Wasserverlust in trockener Luft verhindert. Eine derartige Regulation findet bei physikalischer Verdunstung nicht statt, wie die Transpiration der toten Tiere lehrt. Der Vergleich der Gesamttranspirationskurve mit der Kurve der kutikulären Transpiration legt die Annahme nahe, dass die Regulation im Schliessen der Stigmen besteht. Bei den von mir benutzten Puppen konnte ich Schliessung der Stigmen mit blossem Auge nicht direkt feststellen. Hinsichtlich dieses Punktes sind Tiere mit weit grösserer

Pneumostomweite, wie Landpulmonaten, viel geeigneter, wie HAZELHOFF (1927) und WIT (1932) berichten.

Eine Abnahme der Transpiration bei trockener Luft findet aber, soweit meine Untersuchungen reichen, bei niederen Temperaturen wie 10' oder 15' nicht statt, sogar wenn die Luft auch so kleine relative Feuchtigkeit wie 35% zeigt. Vielleicht können diese Beobachtungen auf noch niedrigere Temperaturen als 10' übertragen werden; ob aber die Kurvenkrümmung bei weit trockenerer Luft als die mit relativer Feuchtigkeit von 35% bei diesen Temperaturen zustande kommt, muss vorläufig dahingestellt bleiben. Es ist bedauerlich, dass ich darüber keine Versuche anstellen konnte, wegen der Unzulänglichkeit des von mir benutzten Hygrothermostats.

Das Grenzsättigungsdefizit, bei welchem das plötzliche Abfallen der Transpirationskurve stattfindet, ist bei höherer Temperatur grösser als bei niederer, z. B. bei 20' liegt es zwischen 10.524 und 11.401 mm. Hg. (d. h. 35-40% rel. Feucht.), während es bei 30' zwischen 17.503 und 19.094 mm. Hg. (d. h. 40-45% rel. Feucht.) liegt. Mit anderen Worten, wenn die Temperatur niedrig ist (selbstverständlich in dem Temperaturintervall, in dem die plötzliche Transpirationsabnahme stattfindet), vermindert sich die Transpiration, auch wenn die Luft nicht so trocken ist, während bei hoher Temperatur ziemlich trockene Luft kein Herabsinken der Transpiration hervorruft. Dieses Resultat zeigt, dass die Schliessung der Stigmen, durch die übermässiger Wasserverlust vermieden wird, nicht nur von dem Sättigungsdefizit, sondern auch von der Temperatur bedingt ist. Diese Tatsache zeigt ferner, dass die Stigmenschliessung einerseits in enger Beziehung zur Verhinderung eines zu starken Wasserverlustes in trockener Luft steht, andererseits von der Abgabe des Wärmeüberschusses, der sich als Folge erhöhten Stoffwechsels ergibt, abhängt. Solches Verhalten der Stigmen ist sehr zweckmässig für die Lebenserhaltung der Organismen, worauf ich in der nächsten Mitteilung ausführlich eingehen werde.

Auf welchem Mechanismus beruht die dauernde Verengerung oder das vollkommene Schliessen der Stigmenöffnungen bei der

Zunahme der Lufttrockenheit? Die Antwort auf diese Frage ist, im Vergleich mit dem diesbezüglichen Verhalten der pflanzlichen Spaltöffnungen, für Insekten wie Lepidopteren, bei denen der Schliessungsapparat im Inneren der Stigmen liegt, sehr schwierig. Da aber diese Erscheinung nur in trockener Luft statthat, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Wasserspannung des Schliessmuskels den Anlass dazu gibt.

Die Ergebnisse der obigen Untersuchungen lassen sich kurz dahin zusammenfassen, dass die durch das physiologische Verhalten der Stigmen herbeigeführte Verhinderung der Transpiration die Behaglichkeitsgrenzen des Dalton'schen Gesetzes zweifellos auf ein verhältnismässig kleines Intervall einschränkt. Das heisst, das Gesetz verliert seine Gültigkeit bei trockener Luft.

#### **IV. Stoffwechseländerungen und Transpirationsregulation**

Kürzlich ist von BUXTON (1930) die Frage aufgeworfen worden, ob die durch Trockenheit bzw. Feuchtigkeit der Luft zuerst herbeigeführte Stoffwechseländerung auf die Transpiration einwirke. Diese Frage erscheint uns etwas unlogisch. Die Frage, ob die Stoffwechselintensität der Organismen von der Feuchtigkeit der umgebenden Luft abhängt, ist durch zahlreiche Versuche bejahend beantwortet worden. Nach den Untersuchungen von SHELFORD (1913), CALDWELL (1925) und FUDII (1930) z. B. verursacht Lufttrockenheit anfangs einen stärkeren Stoffwechsel bei Insekten, später aber stellt sich eine dauernde Verlangsamung des Stoffwechsels ein. Die Ursache hierzu ist wohl in der Wirkung der Trockenheit auf die Wärmeabgabe der Insekten zu suchen, d. h. der Grad der Wärmeabgabe beeinflusst die Stoffwechselgrösse. Da die Wärmeabgabe der Poikilothermen hauptsächlich auf der Wasserdampfabgabe beruht\*, ist es kaum möglich anzunehmen, dass die Trockenheit bzw. Feuchtigkeit der Luft primär eine Änderung der Stoffwechselintensität hervorrufe und sekundär daraus eine Transpirationsänderung folge. Meine Annahme findet ferner eine Stütze in der Kurvenform der kutikulären

\* Siehe VIII. u. X. Mitteilung dieser Serie.

Transpiration. Da die kutikuläre Wasserdampfabgabe in keiner Beziehung zur Stigmenschliessung steht, aber am lebenden Körper vor sich geht, müssten Transpirationsschwankungen, die sekundär auf Stoffwechselveränderungen, wie BUXTON annimmt, zurückgehen, aus der Kurvenform hervorgehen. In Wirklichkeit aber sind alle Kurven ideale Gerade, die in vollkommenem Einklang mit der Dalton'schen Linie stehen, so dass kein Anhaltspunkt für die oben erwähnte Einwirkung gefunden werden kann.

Allerdings muss ich zugeben, dass meine bisher in diesem Abschnitt vorgebrachte Meinung nicht auf Fälle von primären Stoffwechselveränderungen, wie Nahrungsaufnahme und Körperbewegung oder verschiedene Transpirationsintensitäten bei verschiedenen Tierarten, verallgemeinert werden darf. Ueber meine Untersuchungsergebnisse betreffs dieser Verhältnisse habe ich schon in der dritten Mitteilung ausführlich berichtet.

## V. Struktur der Körperoberfläche und Transpirationsregulation

Wie schon erwähnt, stellt SRESNEVSKI mit Recht fest, dass das Dalton'sche Gesetz sich nicht auf das gesamte Sättigungsdefizit bei der Wasserdampfabgabe aus porösen oder kapillarenreichen Oberflächen, wie sie die Organismenhaut darstellt, anwenden lässt, da es nur für Wasserverdunstung aus glatten Oberflächen gilt. Dieser Beziehung hat ausser ihm niemand Aufmerksamkeit geschenkt. Wenn das mit der Insektentranspiration der Fall wäre, dann müssten sämtliche Transpirationskurven bei zu grossem oder zu kleinem Sättigungsdefizit ein viel schnelleres bzw. langsames Ansteigen zeigen, als auf Grund des Dalton'schen Gesetzes erwartet. In Wirklichkeit konnte ich aber bei keiner Kurve eine derartige Beziehung erkennen. Ich glaube, dass dieses auf folgende Tatsache zurückzuführen ist.

a. Meine Untersuchungen konnten wegen der Unzulänglichkeit des von mir benutzten Hygrothermostats sehr trockene Luft nicht



berücksichtigen; daher verfüge ich nicht über die entsprechenden Kurven.

b. Die Grösse der Insektentranspiration, reduziert auf eine bestimmte Gewichtseinheit, ist wegen der Individualabweichungen sehr variabel; deshalb konnte keine deutliche Tendenz, von der Dalton'schen Linie abzuweichen, erkannt werden.

Über diese Verhältnisse können wir aber noch nichts Genaues sagen; zukünftige ausführliche Untersuchungen werden hoffentlich Klarheit in diese Frage bringen.

## E. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN AN LARVEN

Um zu ermitteln, ob die bisher erwähnten Verhältnisse über die Feuchtigkeitsabhängigkeit der Puppentranspiration sich auch bei Insekten im Larvenstadium mit lebhafterem Stoffwechsel vorfinden, sind die gleichen Experimente mit Larven von *Clania variegata* SNELLEN wiederholt worden. Bei diesem Versuch wurde aber nur die gesamte Transpiration der lebenden Larven bei konstanter Temperatur von 26° bestimmt. Das Resultat ist aus Tabelle 9 und Abbildung 6 zu ersehen.

Tabelle 9.

Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration der Larven von *Clania variegata* bei 26°C. Versuchsdauer 3 Std., Zahl der Versuchstiere 25-30.

II %	Gesamte Transp. p. Kg. u. Std. g.		
	Mittel	Maximum	Minimum
20	13.887	17.489	9.441
30	10.865	15.767	8.401
50	9.856	13.253	7.659
75	7.907	8.737	7.210
95	3.461	5.051	1.244

Wie die Figur zeigt, sinkt die Wasserabgabe der Larven mit der Zunahme der relativen Feuchtigkeit herab; die quantitative

Beziehung ist linear, ähnlich wie bei den Milioniapuppen, also

$$V = a \cdot E(100 - H) + c.$$

Beide Konstanten der Formel sind bedeutend grösser bei dieser Transpiration als bei den Milioniapuppen. Wir können demnach mit Recht sagen, dass die Transpiration dieser Larven weit lebhafter ist. Dieses Ergebnis steht mit meiner früheren Auffassung nicht in Widerspruch (s. III. Mitteilung).

Es gibt aber bei dieser Transpiration einen bemerkenswerten Unterschied im Vergleich mit der der Puppen. Er besteht darin, dass die Kurve sich bei

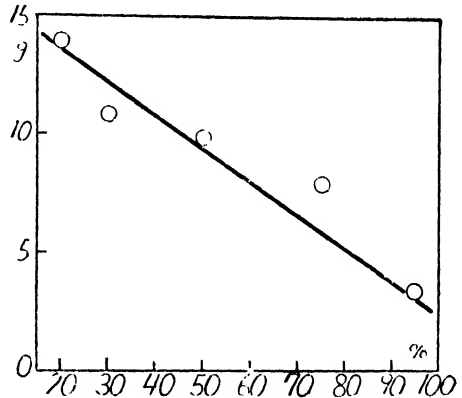


Abb. 6. Einfluss der Luftfeuchtigkeit (Abszisse) auf die Transpiration (Ordinate) der Larven von *Clania variegata* SNELLEN.

so trockener Luft wie 20% rel. Feuchtigkeit und bei 26° nicht nach unten krümmt. Diese Erscheinung hat vielleicht ihren Grund im lebhafteren Stoffwechsel oder in der Aufnahme von wasserreicher Nahrung. Ist diese Annahme richtig, dann müssen wir zu den atmosphärischen Faktoren, die die Stigmenschliessung bei trockener Luft fördern, noch einen wichtigen, von den Körperzuständen der Tiere abhängigen Faktor hinzufügen.

## F. ZUSAMMENFASSUNG

Die gesamte Transpiration der lebenden Insekten, Wasserverdunstung nach dem Tode und kutikuläre Transpiration nehmen mit der Abnahme der relativen Feuchtigkeit der Luft zu, und die Beziehung lässt sich errechnen aus der Formel

$$V = a \cdot E(100 - H) + c,$$

wobei V Verdunstungsgeschwindigkeit, H relative Feuchtigkeit, E Maximalwasserdampfspannung bei der gegebenen Versuchstemperatur, a und c Konstanten darstellen.

Diese Verallgemeinerung trifft aber auf verschiedene Einschränkungen.

Bei der Anwendung dieser Gleichung ist es auf alle Fälle nötig, dass nicht nur die anderen äusseren Faktoren, sondern auch sämtliche Körperzustände sich gleich bleiben. Weit wichtiger ist die aktive Transpirationsregulation der lebenden Tiere in sehr trockener Luft, die auf der Herabsetzung der spirakulären Transpiration beruht; sie findet ihren Ausdruck in einer plötzlichen Abwärtskrümmung der Transpirationskurve. Die kürzlich von BUXTON angeschnittene Frage, ob die durch Trockenheits- bzw. Feuchtigkeitsgrad der Luft primär herbeigeführte Stoffwechseländerung auf die Transpiration einwirke, entbehrt jeder experimentellen und theoretischen Grundlage. Eine rein physikalische, auf der porösen bzw. kapillarreichen Struktur der Körperoberfläche beruhende Regulation, die SRESNEVSKI annimmt, konnte ich bei meinen Transpirationskurven nicht erkennen.

Daraus erscheint mir der Schluss berechtigt, dass das Dalton'sche Gesetz bei der tierischen Transpiration nur innerhalb gewisser Grenzen der Sättigungsdefizitwerte gilt. Abgesehen von den unmittelbaren, rein physikalischen Beziehungen ist die Transpiration in den meisten Fällen vielmehr ein komplizierter den Lebewesen eigener Vorgang.

## G. LITERATUR

- ADOLPH, E. F.: The vapor tension relations of frogs. Biol. Bull. LXII, 112-125 (1932).
- BURGERSTEIN, A.: Die Transpiration der Pflanzen. I, II, III. Jena. 1904, '20, '25.
- BUXTON, P. A.: Evaporation from the meal-worm (*Tenebrio*: Coleoptera) and atmospheric humidity. Proc. roy. Soc. Lond. B. CVI, 560-577 (1930).
- : The law governing the loss of water from an insect. Proc. entom. Soc. Lond. VI, 27-31 (1931).
- CALDWELL, G. T.: A reconnaissance of the relation between desiccation and carbon dioxide production in animals. Biol. Bull. XLVIII, 259-273 (1925).
- DARWIN, F.: On a method of studying transpiration. Proc. roy. Soc. Lond. B. LXXXVII, 269-280 (1914).
- ERISMANN, F.: Zur Physiologie der Wasserverdunstung von der Haut. Z. Biol. XI, 1-78 (1875).
- FUDII, O.: Einfluss der Temperatur und Feuchtigkeit auf die Atmung der Seidenraupen. Jour. seric. Sci. Japan. I, (1930 in Japanisch).

- GALEOTTI, G.: Ueber die Ausscheidung des Wassers bei der Atmung. Biochem. Z. XLVI, 173-185 (1912).
- GUNN, D. L.: Temperature and humidity relations of the cockroach. Nature, CXXVIII, 186-187 (1931).
- HAZELHOFF, E. H.: s. JORDAN, H.: Die Regulierung der Atmung bei Insekten und Spinnen. Z. vergl. Physiol. V, 179-190 (1927).
- KOIDSUMI, K.: Insect development as a hyperbolic function of atmospheric humidity. Dobutsugaku-Zasshi (Zool. Magazine. Japan) XLI, 252-270 (1929, in Japanisch mit englischem Resümee).
- LECLERC, A.: De la transpiration dans les végétaux. Ann. sc. nat. Bot XVI, (1883) zit. n. BURGERSTEIN 1904.
- MAXIMOV, N. A.: The plant in relation to water. London, 1929, Trans. in Engl. by R. H. YAPP.
- MELLANBY, K.: Effects of temperature and humidity on the metabolism of the fasting bed-bug (*Cimex lectularius*, Hemiptera). Parasitology, XXIV, 419-428 (1932).
- : The effect of atmospheric humidity on the metabolism of the fasting Mealworm (*Tenebrio molitor* L., Coleoptera). Proc. roy. Soc. Lond. B. CXI, 376-390 (1932).
- NÜSSLIN, O.: Beiträge zur Anatomie u. Physiologie der Pulmonaten. II. Gewichtsveränderungen durch Abgabe u. Aufnahme von Wasser bei *Helix* u. *Arion*. Habilitationsschrift. Tübingen. (1879). zit. n. KÜNKEL 1916.
- RUBNER, M.: Die Beziehungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zur Wasserdampfabgabe. Arch. Hyg. XI, 137-242 (1890).
- RUBNER, M. u. LEWASCHIEW, v.: Ueber den Einfluss der Feuchtigkeitsschwankungen unbewegter Luft auf Menschen während körperlicher Ruhe. Arch. Hyg. XXIX, 1-55 (1897).
- SHELFORD, V. E.: The reactions of certain animals to gradients of evaporating power of air. A study in experimental ecology. Biol. Bull. XXV, 79-120 (1913).
- SRESNEVSKI, B. J.: On evaporation from the surface of the human body and from plants. Proc. 2nd Climat. a. Hydrolog. Congr., St. Petersburg. I (1905, in Russisch) zit. n. MAXIMOV 1929.
- WEYRICH, V.: Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut. Leipzig (1862).
- WIT, F.: Ueber den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Grösse der Atemöffnung bei Landpulmonaten. Z. vergl. Physiol. XVIII, 116-124 (1932).
- WOLLNY, E.: Untersuchungen über die Verdunstung und das Produktionsvermögen der Kulturpflanzen bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalte der Luft. Forsch. aus d. Gebiet d. Agrik.-Physik. XX, (1898) zit. n. BURGERSTEIN 1904.
- WOLPERT, H.: Ueber die Kohlensäure und Wasserdampfausscheidung der Menschen bei gewerblicher Arbeit und bei Ruhe. Arch. Hyg. XXVI, 68-108 (1896).
- : Ueber den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Arbeitenden. Ebenda XXXVI, 203-219 (1899).
- : Zur Frage des Einflusses der Luftfeuchtigkeit auf die Wasserverdunstung durch Haut. Ebenda XLI, 301-305 (1902).



# V. MITTEILUNG : EINFLUSS DER LUFTTEMPERATUR AUF DIE INSEKTENTRANSPIRATION

(Mit 6 Textabbildungen)

Kiyooki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 21, 1933)

## Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung und Historisches ... ..	109
B. Methode ... ..	112
C. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	113
I. Versuche über die Temperaturabhängigkeit bei kon-	
stanter Feuchtigkeit ... ..	115
II. Zusammenfassende Besprechung der Einzelversuche..	116
III. Feuchtigkeitseinfluss bei konstanter Temperatur ...	118
IV. Bedingungen des Stigmenschlusses ... ..	118
D. Mechanismus der Temperatureinwirkung ... ..	119
E. Zusammenfassung... ..	122
F. Literatur ... ..	123

## A. EINLEITUNG UND HISTORISCHES

Es ist schon lange bekannt, dass die Lufttemperatur die physikalische Wasserverdunstung in der Weise beeinflusst, dass diese auch bei unverändertem Sättigungsdefizit durch Erwärmung beschleunigt und durch Abkühlung vermindert wird (HANN-SÜRING 1926). Auf Grund dieser Tatsache haben zahlreiche Forscher Untersuchungen

über die Temperaturwirkung auf die pflanzliche Transpiration an sehr vielen Pflanzenarten angestellt (Burgerstein's Monographie, Teil 1-3). Es ist jedoch sehr bedauerlich, dass bei solchen Temperaturuntersuchungen die Feuchtigkeit der Luft fast unbeachtet geblieben ist. Derartige Untersuchungen haben keinen grossen Wert, weil das bei der Verdunstung wichtigste Moment, das Wasserdampfspannungsdefizit der Luft, sowohl von der Feuchtigkeit wie auch von der Temperatur abhängt. Versuche, bei welchen die Feuchtigkeit nicht beachtet wird, können keine Antwort auf die Frage geben, ob das gewonnene Ergebnis auf die Temperatur selbst oder auf das Sättigungsdefizit (Trockenheits- oder Feuchtigkeitsgrad der Luft) zurückzuführen sei.

Das Gleiche ist bei Studien der tierischen Transpiration der Fall. Obgleich zahlreiche Untersuchungen über den Temperatureinfluss auf die Transpiration bzw. Perspiration der Menschen und Tiere vorliegen, haben nur wenige Forscher das Sättigungsdefizit berücksichtigt.

Die Abhängigkeit der Wasserdampfabgabe von der Lufttemperatur spielt bei der Wärmeregulierung eine fundamentale Rolle und darf bei Studien über deren Mechanismus nicht unberücksichtigt bleiben. Im Zusammenhang damit beziehen sich die bisherigen diesbezüglichen Beobachtungen auf dem zoologischen Gebiet hauptsächlich auf die homoiothermen Tiere.

Über die Temperaturabhängigkeit der Wasserdampfabgabe an begrenzten Bezirken der menschlichen Haut haben WEYRICH (1862), REINHARD (1869), ERISMANN (1875), sowie GALEOTTI und MACRI (1914) berichtet; die gesamte Hautoberfläche, den Kopf ausgenommen, hat SCHIERBECK (1893) untersucht. Ueber die Abhängigkeit der Wasserdampfausscheidung durch die Lunge von der Temperatur haben RUBNER (1898) und GALEOTTI (1912) Angaben gemacht. Den Gesamtorganismus betreffende Studien über den Lufttemperatureinfluss wurden von RUBNER und LEWASCHEW (1897), WOLPERT (1896 a u. b, '98), OSBORN (1910), alle beim Menschen, und von RUBNER (1890) und RUBNER und CRAMER (1894) beim Hunde und Meerschweinchen

ausgeführt. Diese bei Warmblütern gemachten Untersuchungen zeigen alle, dass bei Temperaturen zwischen ca. 10° und 30° die Intensität der Wasserabgabe mit der Temperatur ansteigt. Die Ergebnisse von RUBNER und seinen Schülern weichen davon insofern ab, als sie zeigen, dass die Temperatur kein rein physikalischer Faktor bei der Wasserdampfabgabe ist. Diese wächst nämlich nicht proportional mit der steigenden Temperatur, sondern weist Schwankungen auf. So ging z. B. beim Meerschweinchen die Temperaturtranspirationskurve zwischen 0° und 15°–16° allmählich herunter, dann stieg sie, anfangs schnell, später etwas langsamer, bis zu den höchsten untersuchten Temperaturen (rund 30°C.).

Ogleich der Transpiration eine wichtige Rolle bei der Wärmeregulation der kaltblütigen Tiere zukommt, besitzen wir bis jetzt keine eingehenden Angaben über ihre Beziehung zur Temperatur. Wir können nur zwei neue Untersuchungen von NECHELES (1924) und BUXTON (1930), beide über Insekten, anführen\*. Bei einem orthopteren Insekt, *Periplaneta orientalis*, machte NECHELES Bestimmungen der Wasserdampfabgabe bei verschiedenen Lufttemperaturen und fand, dass die Wasserdampfausscheidung bei niedrigen Temperaturen zwischen 15° und 25° langsam und gleichmässig ansteigt, bei 25° einen hohen Grad erreicht und das Maximum bei rund 35°. Bei einem weiteren Temperaturanstieg kann sie aber nicht mehr zunehmen, sondern nimmt plötzlich stark ab, wenn die Temperatur über 40° steigt. Er führte diese Bestimmungen zugleich mit denen der Körpertemperatur und des Sauerstoffverbrauches aus und wies das Bestehen einer wirksamen physikalischen Wärmeregulation durch die Wasserverdunstung bei den Insekten nach. BUXTON teilt das Resultat seiner Versuche über Evaporation bei *Tenebrio molitor* mit; unter gleichem Sättigungsdefizit der Luft soll die aus dem ganzen Körper verdunstete Wassermenge grösser sein bei 30° als bei 23°. Trotzdem sich der Versuch von BUXTON nur auf zwei Temperaturen

---

\* Der Temperaturaustrocknungsversuch von KÜNKEL (19'6) bei Landpulmonaten ist ziemlich eingehend, aber die Bedeutung des Temperatureinflusses im Zusammenhang mit der Wärmeregulation blieb gänzlich unbeachtet.



beschränkt, ist er wichtig, weil bei der Beurteilung des Ergebnisses Rücksicht auf das Sättigungsdefizit genommen wurde.

Ich habe vorher berichtet (s. Mitteilung IV), dass die Abhängigkeit der Insektentranspiration von der Luftfeuchtigkeit nach der Formel

$$V = a \cdot E(100 - H) + c$$

ermittelt wird, die zeigt, dass die Transpirationsgeschwindigkeit proportional zu dem Sättigungsdefizit der Luft anwächst. In dieser Formel ist der Wert der Konstanten  $a$  (=Transpirationsquotient) verschieden je nach der Verdunstungstemperatur; je höher die Temperatur, desto grösser ist  $a$ . Dies zeigt nichts anderes, als dass die Transpiration mit der Erhöhung der Temperatur ansteigt, wenn das Spannungsdefizit auch unverändert bleibt. Die Dampfspannung des Wassers, welche zur Sättigung der Luft mit demselben Dampf noch fehlt, das Sättigungsdefizit, Sättigungsfehlbetrag oder Dampfhunger, wird durch die Erhöhung der Temperatur vergrößert, so dass die durch die Temperatursteigerung herbeigeführte Transpirationsbeschleunigung ihren Grund zum Teil im Zuwachs des Sättigungsfehlbetrages hat. Aber es ist anzunehmen, dass die Temperatur noch auf andere Weise die Transpiration beeinflusst. Die Untersuchungen, mit denen sich die vorliegende Mitteilung befasst, betreffen diese Temperaturabhängigkeit der Transpiration der Insekten.

## B. METHODE

Als Versuchsobjekt dienten Puppen von *Milonia zonea* MOORE (♀). Zwanzig bis dreissig abgezählte Puppen wurden in einem Hygrothermostat untergebracht, in dem die Lufttemperatur und Feuchtigkeit beliebig reguliert werden konnten. Die relative Feuchtigkeit war in jedem Versuch konstant, nur die Temperatur variierte. Die Transpirationsbestimmungen erfolgten durch Feststellung des Körpergewichtsverlusts jeder Puppe nach drei Stunden. Die so gefundenen Werte wurden später auf 1 kg. Gewicht und eine Stunde umgerechnet. Mitgeteilt werden nur die Mittelwerte.

Die relativen Feuchtigkeiten, unter denen meine Experimente ausgeführt wurden, sind folgende fünf: 27, 40, 70, 85 und 94%. Unter diesen konstant gehaltenen Feuchtigkeiten wurde die Transpiration in Temperaturabständen von 5° zwischen 10° und 40° bestimmt.

### C. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

In Tabelle 1 sind die Transpirationsmittelwerte der Milioniapuppen bei gleicher relativer Feuchtigkeit und verschiedenen Temperaturen zusammengestellt, daneben die Sättigungsdefizitwerte, die sich gezwungenermassen mit der Temperatur verändern. Um eine bessere Übersicht über die Abhängigkeit der Transpiration von der Temperatur und über die Beziehungen der Transpiration zum simultan geänderten Sättigungsdefizit zu bieten, bringe ich ausserdem graphische Darstellungen in den Abbildungen 1-6.

Tabelle. 1.

Temperaturabhängigkeit der Transpiration (g) der Milioniapuppen bei konstanter relativer Feuchtigkeit der Luft. Die eingeklammerten Zahlen stellen das durch die Temperaturveränderung herbeigeführte Sättigungsdefizit dar.

Temp. °C. Rel. Feucht.	10	15	20	25	30	35	40
27	— (6.724)	0.5335 (9.337)	0.8634 (12.801)	1.2615 (17.345)	1.9700 (23.329)	3.0421 (30.791)	3.1164 (40.384)
40	0.6235 (5.526)	0.7282 (7.674)	1.6328 (10.524)	2.0814 (14.256)	2.7816 (19.092)	3.9834 (25.308)	— (33.192)
70	0.3715 (2.763)	0.5381 (3.837)	0.7600 (5.262)	1.2409 (7.128)	1.5965 (9.546)	2.3945 (12.654)	— (16.596)
85	0.3329 (1.382)	0.4907 (1.919)	0.8214 (2.631)	0.8161 (3.564)	1.0250 (4.773)	1.0996 (6.327)	— (8.298)
94	0.1287 (0.553)	0.2731 (0.767)	0.3216 (1.052)	0.4650 (1.426)	0.3859 (1.909)	0.5212 (2.531)	0.5138 (3.319)

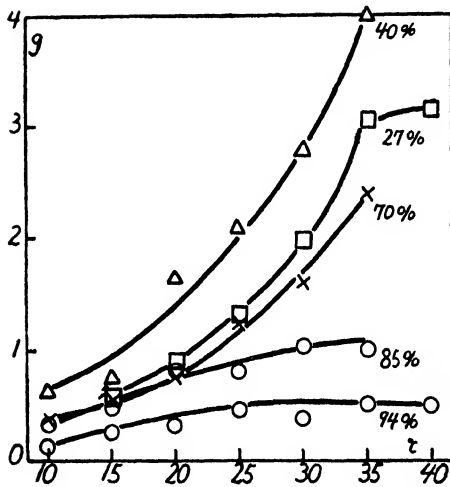


Abb. 1. Abhängigkeit der Transpiration der Milioniapuppen (Ordinate) von der Temperatur (Abszisse) bei konstanten relativen Feuchtigkeiten von 27, 40, 70, 85 und 94%.

Abbildung 2.

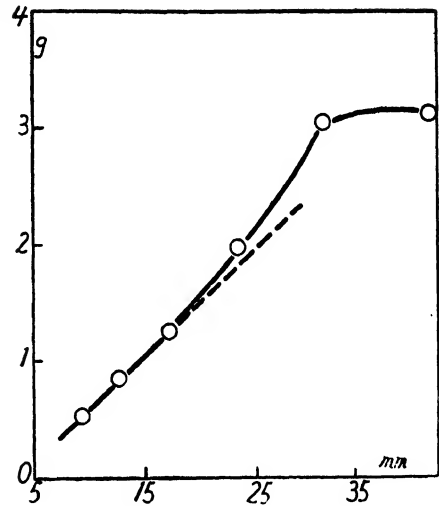


Abbildung 3.

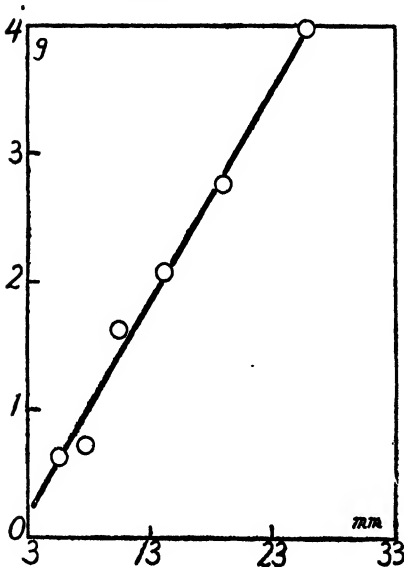


Abbildung 4-6.

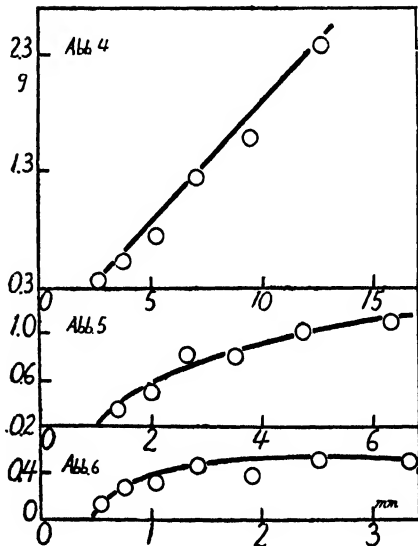


Abb. 2-6. Beziehungen der durch Temperaturwechsel geänderten Transpiration (Ordinate) zur simultan herbeigeführten Sättigungsdefizitveränderung (Abszisse). Abb. 2: Daten bei 27%; Abb. 3: Daten bei 40%; Abb. 4: Daten bei 70%; Abb. 5: Daten bei 85%; Abb. 6: Daten bei 94% relativer Feuchtigkeit.

## I. Versuche über die Temperaturabhängigkeit bei konstanter Feuchtigkeit

(a) Temperatureinfluss bei konstanter relativer Feuchtigkeit von 27%. Die Luft, die eine relative Feuchtigkeit von 27% besitzt, ist selbstverständlich bei allen Temperaturen ziemlich trocken. Bei dieser Feuchtigkeit nimmt der Transpirationswert mit steigender Temperatur zu und mit fallender ab. Die Kurve, die diese Wasserabgabe wiedergibt, steigt infolgedessen mit der Temperaturerhöhung an (Abb. 1). Der Kurvenanstieg ist annähernd linear im Intervall von ungefähr 15° bis 25°, aber zwischen 25° und 35° wird die Kurve steiler als zwischen 15° und 25°. Bei etwa 35° lässt der Anstieg nach, und die Kurve hält sich bis 40° auf fast gleicher Höhe. Betrachten wir die Abbildung 2, wo die Abszisse das Sättigungsdefizit, die Ordinate dagegen die Transpiration (beide durch die Temperaturveränderung herbeigeführt) angibt, um das Verhältnis zwischen den beiden veränderlichen Grössen noch klarer zu machen, so sehen wir, dass es gelingt, die Punkte der Transpirationswerte zwischen 15° und 25° (Sätt.def. 9.337–17.345) durch eine Gerade zu verbinden. Bei 25°–35° aber (Sätt.def. 17.345–30.791) liegen die Punkte über dieser Geraden. Oberhalb dieser Grenze verläuft die Kurve auf einer gleichen Höhe bis zu 40° (Sätt.def. 40.384).

Aus dieser Tatsache können wir nun mit grösster Wahrscheinlichkeit schliessen, dass der durch die Temperaturerhöhung bei konstanter relativer Feuchtigkeit hervorgerufene Transpirationzuwachs in relativ niederen Temperaturen auf die durch die Temperaturzunahme verursachte Sättigungsdefizitsteigerung zurückzuführen ist. Bei höheren Temperaturen hingegen tritt zu diesem Vorgang eine spezielle Wirkung der Temperatur hinzu.

(b) Temperatureinfluss bei konstanter relativer Feuchtigkeit von 40%. Bei dieser relativen Feuchtigkeit wird die Geschwindigkeit der Wasserdampfabgabe durch die Temperaturerhöhung auch beschleunigt, und zwar besteht in diesem Fall eine fast vollkommene Proportionalitätsbeziehung zwischen Transpirations- und Sättigungs-

defizitwerten bei allen untersuchten Temperaturen ( $10^{\circ}$ – $35^{\circ}$ ). Die Temperaturabhängigkeit der Transpiration bei dieser Feuchtigkeit muss daher auf dem Dampfhunger beruhen, woraus sich eine gerade Sättigungsdefizittranspirationskurve ergibt, wie aus Abb. 3 hervorgeht.

(c) Temperatureinfluss bei konstanter relativer Feuchtigkeit von 70%. Das Resultat, das ich bei dieser Feuchtigkeit erhielt, stimmt mit dem im vorigen Versuch gewonnenen überein, eine ausführliche Beschreibung ist daher überflüssig (s. Abb. 4).

(d) Temperatureinfluss bei konstanter relativer Feuchtigkeit von 85%. Der Transpirationsverlauf bei 85- und 95-prozentiger Feuchtigkeit, bei denen der Feuchtigkeitsgehalt der Luft bei allen Temperaturen ziemlich hoch ist, ist ganz eigenartig und betrifft die Kurvenform von dem in den vorigen Versuchen gefundenen durchaus verschieden. Die Form der Transpirationskurve ist eine ganz andere als die der Sättigungsdefizitkurve. Trotzdem die letztere eine mit der Temperaturzunahme immer steiler werdende Linie ist, die wie eine Hyperbel aussieht, wie in den vorigen Versuchen, steigt die Transpirationskurve anfangs ganz plötzlich, dann langsamer an, später aber, von einer gewissen Temperatur ab, schwenkt sie zur Horizontalen um (s. Abb. 1.). Die graphische Darstellung dieser Werte (s. Abb. 5) im Verhältnis zum Sättigungsdefizit ergibt daher keine Gerade, sondern eine mit der Defizitzunahme sich nach unten krümmende Kurve.

(e) Temperatureinfluss bei konstanter relativer Feuchtigkeit von 94%. Die Transpirationskurve bei dieser Luftfeuchtigkeit gleicht vollkommen den im vorigen Versuch beschriebenen (s. Abb. 1 und 6).

## II. Zusammenfassende Besprechung der Einzelversuche

Die Einzelversuche haben gelehrt, dass die Transpiration bei relativen Feuchtigkeiten zwischen 40 und 70% (die in den Einzelversuchen konstant gehalten waren) innerhalb des untersuchten Intervalles zwischen  $10^{\circ}$  und  $35^{\circ}\text{C.}$  mit steigender Temperatur proportional mit dem sich aus der Temperaturerhöhung ergebenden Sättigungsdefizitzuwachs zunimmt. Daraus folgt der wichtige Schluss, dass

die bei Temperaturerhöhung beobachtete Zunahme der Transpirationsintensität bei gleichbleibender relativer Luftfeuchtigkeit auf nichts anderem als auf der simultanen Sättigungsdefizitsteigerung beruht. Daher können wir die Transpiration in dem untersuchten Feuchtigkeitsbereich als einen Fall von physikalischer Wasserverdunstung, die dem Dalton'schen Gesetz folgt, betrachten. Bezeichnen wir nun diese Temperatur- und Feuchtigkeitsgrenzen, innerhalb deren das Dalton'sche Gesetz gilt, mit Sättigungsdefizitwerten, dann liegt das betreffende Intervall zwischen 3 und 20 mmHg. Da auch bei 27prozentiger Feuchtigkeit der Transpirationszuwachs bei Temperaturen unterhalb von 25° (Sätt.def. 18 mmHg.) zur Defizitsteigerung proportional ist, stehen die oben genannten Grenzen (3–20 mmHg.) endgültig fest.

Wie sind nun die Verhältnisse bei Sättigungsdefiziten, die ausserhalb dieser Behaglichkeitszone liegen? Bei 27% rel. Feuchtigkeit nimmt die Transpiration bei Temperaturerhöhung über 25° hinaus (entsprechender Sättigungsdefizitwert=etwa 20 mmHg.) viel energischer zu. Oberhalb von 35° tritt hingegen bei derselben Feuchtigkeit, der nun ein Sättigungsdefizit von 31 mmHg. entspricht, mit steigender Temperatur ein relatives Herabsinken der Transpiration zutage. Die Unregelmässigkeit des Transpirationsverlaufes, wie sie oben für hohe Temperatur und trockene Luft geschildert wurde, findet man auch bei sehr feuchter Luft und einem Sättigungsdefizit von 3–5 mmHg. Bei hohen Temperaturen und so beschaffener Luftfeuchtigkeit hält die Zunahme des Wasserdampfverlustes durch erhöhte Temperatur keineswegs Schritt mit der Entwicklung des Sättigungsdefizits, trotz der ziemlich starken Vergrösserung des ersteren bei tiefen Temperaturen.

Der von der Temperatur beeinflusste Transpirationsverlauf ist aber bei konstanter relativer Feuchtigkeit als eine Funktion der simultan herbeigeführten Sättigungsdefizitänderung anzusehen, aber nur innerhalb eines gewissen Sättigungsdefizitbereiches. Bei sehr trockener wie auch bei sehr feuchter Luft ist der Wasserverlust bei wechselnder Temperatur wahrscheinlich kein sich unmittelbar aus

dem physikalischen Geschehen ergebender, sondern ein durch physiologische Momente modifizierter Vorgang.

### III. Feuchtigkeitseinfluss bei konstanter Temperatur

Die für diese Mitteilung gewonnenen Daten bezüglich des Temperatureinflusses auf die Insektentranspiration bei konstanter relativer Feuchtigkeit können für eine Nachprüfung meines Ergebnisses über den Einfluss der Feuchtigkeit bei konstanter Temperatur, worüber ich bereits ausführlich berichtet habe, verwendet werden, da

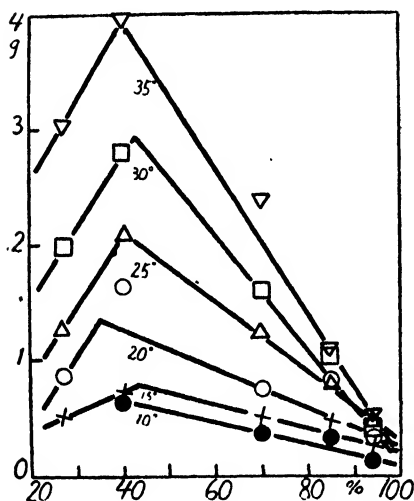


Abb. 7. Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit (Abszisse) auf die Transpiration (Ordinate) von Milioniapuppen bei konstanter Temperatur.

abfallen, die Kurven bei niederen Temperaturen ausgenommen. So lassen sich die Beziehungen auch in diesem Falle am besten ausdrücken durch meine Formel

$$V = a \cdot E(100 - H) + c.$$

### IV. Bedingungen des Stigmenschlusses

Der den Stigmenschluss auslösende Faktor ist nicht der Trockenheitsgrad der Luft allein, wie in meiner vierten Mitteilung erwähnt,

die vorliegenden Untersuchungsreihen sich auf dieselben relativen Feuchtigkeiten und Temperaturen beziehen. In Abb. 7 ist das Resultat graphisch dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Beziehung der Wasserverdunstung zur relativen Feuchtigkeit durchaus damit übereinstimmt, was ich in der vierten Mitteilung geschrieben habe. Hier wie dort verlaufen alle Transpirationsskurven linear mit der Abnahme der relativen Feuchtigkeit, bis zu einem bestimmten Punkte, von dem ab sie aber plötzlich

weil der Sättigungsdefizitwert, von dem ab die Transpirationskurve in entgegengesetzter Richtung verläuft, d.h. von dem ab die Stigmen sich verengern oder auch völlig schliessen, bei verschiedenen Temperaturen nicht der gleiche ist. Dieser Sättigungsdefizitwert wird mit steigender Temperatur proportional immer grösser, in anderen Worten, der Sättigungsdefizitwert, der den Stigmenschluss bedingt, ist bei höheren Temperaturen höher als bei tieferen, wie die nachstehende Tabelle zeigt.

Es wäre zu erwarten, dass diese zwei Faktoren, Sättigungsdefizit und Temperatur, sozusagen eine umgekehrte Korrelation mit dem Stigmenschluss zeigten. Da die Stigmenschliessung bei hohem Sättigungsdefizit zu starken Wasserverlust verhindert, liegt es nahe, anzunehmen, dass Insekten ihre Stigmenöffnungen in relativ hohen Temperaturen bei kleinerem Sättigungsdefizit verschliessen würden als in niedrigen. Aber die Tatsachen stehen im Widerspruch

mit dieser Vermutung, denn je höher die Temperatur, desto höher das Sättigungsdefizit, bei dem der Stigmenschluss erfolgt. Diese Frage kann man nur durch das Studium des Zusammenhangs zwischen Wasserdampfausscheidung und Wärmeregulation lösen, wie ich mehrmals betont habe. Insekten müssen bei extremer Erhöhung der Körpertemperatur sterben, wenn sie nicht imstande sind, überflüssige, durch erhöhten Stoffwechsel infolge der hohen Lufttemperatur produzierte Wärme abzugeben. Deshalb müssen die Tiere fortwährend Wasserdampfausscheidung ausführen, die das beste Mittel zur Wärmeabgabe ist, soweit sie nicht in Austrocknungsgefahr kommen.

Tabelle 2.

Sättigungsdefizitintervall, ausserhalb dessen die Transpirationskurve in entgegengesetzter Richtung verläuft.

Temp. °C	Sättigungsdefizit
10	keiner od. über 6.723
15	7.674–9.337
20	10.524–12.801
25	14.256–17.345
30	19.092–23.329
35	25.308–30.791

#### D. MECHANISMUS DER TEMPERATUREINWIRKUNG

Aus den Ergebnissen dieser und der vorigen Mitteilung konnte



ich schliessen, dass die Temperatur der umgebenden Luft in dreifacher Weise auf die tierische Transpiration wirkt, nämlich durch Veränderungen

1. des Sättigungsdefizits der die Tiere umgebenden Luft ;
2. des Dampfdrucks des im Inneren der Tiere enthaltenen Wassers ;
3. des im Inneren der Tiere vor sich gehenden Stoffwechsels.

Betreffs 1. und 2. gelten die Gesetze der physikalischen Wasserverdunstung. Im ersten Falle beeinflusst die Temperatur die Wasserdampfspannung der umgebenden Luft in solcher Weise, dass die Verdunstung, wie allgemein bekannt, dem Dalton'schen Gesetze folgt :

$$\frac{dV}{dz} = A(E - e).$$

Diese Gesetzmässigkeit verliert aber ihre Gültigkeit, wenn die Temperatur ungleich ist, sogar bei demselben  $E - e$ . Es muss zu dem Gesetz noch eine andere Beziehung hinzugefügt werden. FRABERT und GALLENKAMP (s. HANN-SÜRING 1926, S. 228) haben nämlich gefunden, dass der Temperatureinfluss sich in diesem Falle durch den Faktor  $1 - at$  ausdrücken lässt. Danach lautet die Formel :

$$\frac{dV}{dz} \propto (1 - at).$$

Diese Verhältnisse der physikalischen Wasserverdunstung gelten auch bei der biologischen Transpiration. Wie schon gesagt, wachsen bei konstanten Temperaturen die Werte der tierischen und pflanzlichen Transpiration mit der Zunahme des Sättigungsdefizits ; bei verschiedenen Temperaturen aber nimmt dieses umso schneller zu, je höher die Temperatur ist. Es ist leicht zu verstehen, dass die Erscheinung einer grösseren Wasserdampfabgabe bei hohen Temperaturen als bei niederen sogar bei demselben Sättigungsdefizit auf der unter 2. angegebenen Ursache beruht, wenn wir in Betracht ziehen, dass der Quotient  $a$  in meiner Transpirationsgleichung

$$V = 100a(E - e) + c$$

proportional mit dem Temperaturanstieg wächst. Der Wert  $a$  stellt

nämlich den Index aller relativen Grössen der bei gleichem Sättigungsdefizit erzeugten Transpiration dar. Abb. 8 bringt die graphische Darstellung der von mir in der vierten Mitteilung gebrachten Werte von a.

Man sieht in der Figur, dass es einigermaßen gelingt, die Punkte von a bei jeder der dreierlei Arten von Transpiration (gesamte Transpiration der lebenden Puppen, Transpiration der toten Puppen und kutikuläre Transpiration) durch eine gerade Linie zu verbinden. Daraus, dass der Vorgang der Wasserdampfausscheidung der lebenden Organismen den unter 1. und 2. angeführten Bedingungen folgt,

kann man den Schluss ziehen, dass er grosse Ähnlichkeit mit der physikalischen Evaporation hat.

Trotzdem kann die biologische Transpiration nicht gänzlich zur Kategorie der physikalischen Wasserverdunstung gehören, wenn wir berücksichtigen, dass ausserdem noch ein wichtiger Mechanismus der Temperaturbeeinflussung, der unter 3. angeführt wurde, sich besonders an der biologischen Transpiration beteiligt.

Die unter 1. und 2. genannten Wirkungsweisen der Temperatur auf die Insektentranspiration bestehen nur innerhalb gewisser Grenzen des Sättigungsdefizits und der Temperatur; bei Milioniapuppen betragen die betreffenden Intervalle ca. 3–20 mmHg. bzw. 10'–20°C. Wenn die Trockenheit der Luft 20 mmHg. übersteigt, fördert die Temperaturerhöhung bei konstanter relativer Feuchtigkeit die Transpirationszunahme in viel grösserem Masse als die Steigerung des Sättigungsdefizits, bis zu einer gewissen Temperatur, oberhalb deren die Transpiration abnimmt. Umgekehrt, bei feuchter Luft, deren Defizit unter 3 mmHg. liegt, führt hohe Temperatur eine relative

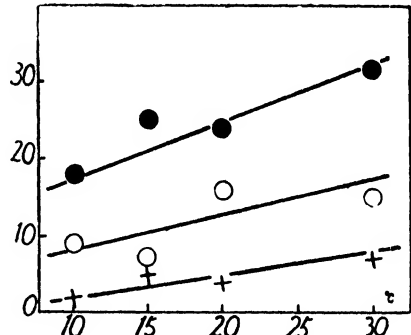


Abb. 8. Beziehung der Transpirationsquotienten,  $a \times 10^{-4}$ , (Ordinate) zur Temperatur (Abszisse) ● Evaporation nach dem Tode, ○ Gesamte Transpiration, × Kutikuläre Transpiration.

Abnahme der Transpirationssteigerung herbei. Um verständlich zu machen, warum die Transpiration je nach dem Trockenheits- bzw. Feuchtigkeitsgrade und der Temperatur der Luft nicht immer nach 1. und 2. verläuft, muss ich den Einfluss der Stoffwechselintensitätsänderungen und die Stigmenbewegungsänderungen erörtern.

Es ist eine längst bekannte Tatsache, dass die Mengen des verbrauchten Sauerstoffes sowie auch der ausgeschiedenen Kohlensäure sich bei der Atmung der kaltblütigen Tiere, durch die Erhöhung der Umgebungstemperatur wegen des erheblich gesteigerten Energiebedarfs resp. -verbrauchs beträchtlich vergrössern. Dieser durch die Temperaturzunahme vermehrte Gaswechsel hat folgende Erscheinungen zur Folge: entsprechende Beschleunigung des Atmungsrythmus bei der Ventilationsatmung wie die abdominale Pumpbewegung der Insekten, Lungenvergrösserung und -verkleinerung bei Reptilien, Kehloszillation bei Amphibien und, wie HAZELHOFF (1927) berichtet, Vergrösserung der Atemlöcher bei der Diffusionsatmung wie bei Insektenpuppen oder Landpulmonaten. Es unterliegt keinem Zweifel, dass solche mit der Temperaturerhöhung verstärkte Ventilation und Diffusion die Zunahme der Wasserabgabe herbeiführen.

Es fragt sich angesichts dessen, warum erfolgt eine relative Abnahme der Transpiration bei hoher Temperatur in feuchter Luft?

Wahrscheinlich werden die Tiere in warmer feuchter Luft matt, und ihr Stoffwechsel sinkt herab. Jedoch wäre es unrichtig, anzunehmen, dass der verringerte Stoffwechsel die Ursache der Transpirationsabnahme sei, denn die Verminderung des Stoffwechsels in warmer feuchter Luft wird durch die extreme Erhöhung der Körpertemperatur herbeigeführt, als selbstverständliche Folge des Mangels oder der Abnahme der Wasserverdunstung. Die Ursache dieser Erscheinung ist mir noch nicht klar, weshalb ich von einer weiteren Erörterung hier absehe.

## E. ZUSAMMENFASSUNG

Die Transpiration der Insekten nimmt durch die Temperaturerhöhung der umgebenden Luft von 10° bis 40°C. bei konstanter

relativer Feuchtigkeit innerhalb eines bestimmten Sättigungsdefizit-intervalles (etwa 3–20 mmHg.) proportional zum simultanen Sättigungsdefizitzuwachs zu. Aber bei trockener Luft, deren Sättigungsdefizit ausserhalb dieses Intervalles liegt, führt hohe Temperatur eine stärkere Zunahme der Transpiration als des Sättigungsdefizits herbei; weitere Erhöhung der Temperatur hat im Gegenteil ein Herabsinken der Transpiration zur Folge. Im Gegensatz dazu hält bei sehr feuchter Luft und bei etwa 3–5 mmHg. Sättigungsdefizit die durch erhöhte Temperatur bewirkte Zunahme des Wasserdampfverlustes keineswegs Schritt mit der simultanen Entwicklung des Sättigungsdefizits, sondern fällt in höheren Temperaturen allmählich ab, trotz der starken Zunahme in niedrigen.

Aus den gewonnenen Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass die Temperatur der umgebenden Luft in dreifacher Weise auf die tierische Transpiration wirkt, nämlich durch Veränderungen 1. des Sättigungsdefizits der umgebenden Luft, 2. des Dampfdrucks des im Innern der Tiere enthaltenen Wassers und 3. des im Innern der Tiere vor sich gehenden Stoffwechsels.

Die vorliegenden Untersuchungen über den Temperatureinfluss bestätigen die von mir schon oft wiederholte Ansicht, dass die Ursachen des Vorganges der Wasserdampfabgabe durch lebende Organismen nicht immer unmittelbar im physikalischen Geschehen zu suchen sind.

## F. LITERATUR

- BURGERSTEIN, A.: Die Transpiration der Pflanzen. I, II, III. (1904, '20, '25).  
 BUXTON, P. A.: Evaporation from the meal-worm (*Tenebrio*: Coleoptera) and atmospheric humidity. Proc. roy. Soc. Lond. B. CVI, 560–577 (1930).  
 ERISMANN, F.: Zur Physiologie der Wasserverdunstung von der Haut. Z. Biol. XI, 1–78 (1875).  
 GALEOTTI, G.: Ueber die Ausscheidung des Wassers bei der Atmung. Biochem. Z. XLVI, 173–185 (1912).  
 GALEOTTI, G. u. MACRI, N. M.: Ueber die Perspiratio insensibilis unter normalen und pathologischen Bedingungen. Ebenda, LXVII, 472–482 (1914).  
 HANN J. v. u. SÜRING, R.: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig (1926).  
 HAZELHOF, siehe JORDAN, H.: Die Regulierung der Atmung bei Insekten und Spinnen. Z. vergl. Physiol. V, 179–190 (1927).

- KÜNKEL, K.: Zur Biologie der Lungenschnecken. Heidelberg (1916).
- NECHELES, H.: Ueber Wärmeregulation bei wechselwarmen Tieren. Pflügers Arch. CCIV, 72-86 (1924).
- OSBORN, W. A.: A contribution to physiological climatology. 1. The reactions of loss of water from the skin and lungs to the external temperature in actual climatic conditions. J. Physiol. XLI, 345-354 (1910).
- REINHARD, C.: Beobachtungen über die Abgabe von Kohlensäure und Wasserdunst durch die Perspiatio cutanea. Z. Biol. V, 28-60 (1869).
- RUBNER, M.: Die Beziehungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zur Wasserdampfabgabe. Arch. Hyg. XI, 137-242 (1890).
- : Notiz über die Wasserdampfausscheidung durch die Lunge. Ebenda, XXXIII, S. 151-154 (1898).
- RUBNER, M. u. CRAMER, E.: Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlung auf Stoffzersetzung, Wärmebildung und Wasserdampfabgabe bei Tieren. Ebenda, XX, 345-364 (1894).
- RUBNER, M. u. LEWASCHEW, v.: Ueber den Einfluss der Feuchtigkeitsschwankungen unbewegter Luft auf Menschen während körperlicher Ruhe. Ebenda, XXIX, 1-55 (1897).
- SCHIERBECK, N. P.: Die Kohlensäure und Wasserausscheidung der Haut bei Temperaturen zwischen 30° und 39°. Arch. Anat. u. Physiol. Jg. 1893 116-124.
- WEYRICH, V.: Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut. Leipzig (1862).
- WOLPERT, H.: Ueber den Einfluss der Lufttemperatur auf die im Zustand anstrengender körperlicher Arbeit ausgeschiedenen Mengen Kohlensäure und Wasserdampf beim Menschen. Arch. Hyg. XXVI, 32-67 (1896).
- : Ueber die Kohlensäure- und Wasserdampfausscheidung der Menschen bei gewerblicher Arbeit und bei Ruhe. Ebenda, XXVI, 68-108 (1896).
- : Einfluss der Luftbewegung auf Wasserdampf- und Kohlensäureabgabe des Menschen. Ebenda, XXXIII, 206-228 (1898).

# VI. MITTEILUNG :

## EINFLUSS DER LUFTBEWEGUNG UND DES LICHTES AUF DIE INSEKTENTRANSPIRATION

(Mit einer Textabbildung<sup>1</sup>)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 21, 1933)

### Inhaltsübersicht

	SEITE
I. Einfluss der Luftbewegung ... ..	125
A. Einleitung ... ..	125
B. Methode ... ..	127
C. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	128
II. Einfluss des Lichtes ... ..	129
A. Einleitung ... ..	129
B. Ergebnisse der Untersuchungen... ..	131
1. Transpiration im direkten Sonnenlicht, im diffusen Tageslicht und im Dunkeln ... ..	131
2. Lichtintensität und Transpiration ... ..	132
III. Zusammenfassung ... ..	135
IV. Literatur... ..	135

### I. EINFLUSS DER LUFTBEWEGUNG

#### A. Einleitung

Die Bewegung der ein verdunstendes System umgebenden Luft ist ein ebenso wichtiger Faktor der biologischen Transpiration sowie der physikalischen Verdunstung wie Temperatur und Feuchtigkeit.

Das Studium des Wasserverdunstungsprozesses im begrenzten

---

[Mem. of the Fac. of Sci. and Agr., Taihoku Imp. Univ., Formosa, Japan, Vol. XII,  
No. 1, April, 1934]

geschlossenen Raume, in dem die Luft sich gar nicht bewegt, führt nicht zum Ziele, denn die an das verdunstende System grenzende Luftschicht wird innerhalb kurzer Zeit mit Wasserdampf gesättigt, und schliesslich erstreckt sich dieser Zustand auf den ganzen Versuchsraum.

Bei solcher Dampfsättigung der Aussenluft erleidet die Diffusion selbstverständlich einen dynamischen Stillstand. Auch im ausgedehnten, nicht geschlossenen Raume wird die direkte Diffusion aus dem verdunstenden System mit der Zeit verzögert, wenn die oberflächliche Luftschicht mit dem verdunstenden System in Bezug auf die Dampfspannung einmal ins Gleichgewicht gebracht worden ist und die verdampften  $H_2O$ -Moleküle aus dieser Schicht nach aussen infolge der Luftstille nicht entweichen können. Wenn hingegen eine Bewegung von geeigneter Geschwindigkeit in der betreffenden Luftschicht vorhanden ist, wird das primär verdampfte Wasser allmählich nach aussen entfernt, wodurch normale Verdunstungsbedingungen verwirklicht werden, insofern die Luftgeschwindigkeit nicht so gross ist, dass sie die Verdunstung beschleunigt. Diese Verhältnisse sind neuerdings von SEYBOLD (1929) für die pflanzliche Transpiration theoretisch und experimentell in erschöpfender Weise behandelt worden.

Die im allgemeinen miteinander übereinstimmenden Hauptergebnisse der Untersuchungen über den Einfluss des Windes als Luftbewegung lassen sich für die pflanzliche Transpiration in folgenden Sätzen zusammenfassen. Die Wirkung des Windes äussert sich in einer Förderung der Wasserabgabe. Eine Herabsetzung tritt aber ein, wenn bei zu starkem Wind die ganze stomatäre Transpiration durch raschen und vollständigen Spaltöffnungsschluss aufgehoben wird (s. Burgerstein's Monographie I u. II). Diese Verhältnisse sind aber nach den ausführlichen Versuchen von SEYBOLD nicht gleichartig, sondern verschieden je nach dem Hygro- bzw. Xeromorphismus der Pflanzen.

Über die Windabhängigkeit der menschlichen Transpiration besitzen wir Versuche von REINHARD (1869), SCHIERBECK (1895) und

WOLPERT (1898). Die beiden erstgenannten Autoren stellten eine Erhöhung der Wasserdampfabgabe durch die Luftbewegung fest und wiesen darauf hin, dass sie mit steigender Luftgeschwindigkeit zunimmt. WOLPERT ist aber der Meinung, der Windeinfluss sei nicht so einfach, sondern je nach der Temperatur verschiedenartig. WEYRICH (1862) zeigte, dass die Windrichtung keinen Einfluss auf die menschliche Perspiration ausübt.

## B. Methode

In Textabbildung I der ersten Mitteilung dieser Transpirationsstudien wurde ein Apparat gezeigt, mit dessen Hilfe der von dem Tierkörper ausgeschiedene Wasserdampf durch die Gewichtszunahme einiger wasserabsorbierender Substanzen, die in aufeinanderfolgenden Trockenröhren enthalten waren, bestimmt werden konnte. Das Durchsaugen des Luftstromes durch den gesamten Apparat wird mit einer grossen als Aspirator dienenden Glasflasche A bewerkstelligt. Wird das Wasser aus dieser Flasche durch ein in der Nähe ihres Bodens angebrachtes Glasröhrchen in verschiedener Quantität ausgeschieden, dann entsteht ein den gesamten Apparat mit verschiedener Geschwindigkeit durchziehender Luftstrom. Die Ventilationsgeschwindigkeit wird mittels des Spirometers ermittelt, in dem das Druckgefälle an zwei Punkten an beiden Seiten des Kapillärchens K abgelesen wird.

Mit Hilfe dieses Apparates machte ich einen einfachen Versuch, um die Beziehung der Transpiration zur Geschwindigkeit des die Transpirationskammer TK, in dem sich die Versuchstiere befinden, passierenden Luftstromes zu bestimmen. Bei dieser Versuchsanstellung könnte man daran denken, dass das Absorptionsvermögen der Chlorkalziumröhre umso kleiner wird, je grösser die Durchsaugungskraft des Aspirators. Soweit es sich aber um die von mir erzeugten Luftgeschwindigkeiten handelt, war diese Sorge unnötig, denn es zeigte sich bei einem Vorversuche, in dem nur Luft von konstanter Feuchtigkeit und Temperatur hineingeleitet wurde, dass die



Gewichtszunahme der U-Röhre bei verschiedener Durchsaugungskraft fast die gleiche war. Vom theoretischen Standpunkte aus müsste das stärkere Durchsaugen des Luftstromes die Absorptionsfähigkeit infolge der schnelleren Durchfliessung des Stromes herabsetzen, und im Gegenteil, die Menge des absorbierten Wassers wegen der grösseren Menge der eingeleiteten Luft vergrössern. Ich glaube aber, dass diese beiden entgegengesetzten Wirkungen in meinen Versuchen einander die Wage gehalten haben.

Die Versuche wurden mit Milioniapuppen (je 25 Tiere für ein Experiment) bei Temperaturen von 21°–22° und relativer Feuchtigkeit von 45–47% angestellt.

### C. Ergebnisse der Untersuchungen

Die Daten sind in Tabelle 1 zusammengestellt und in Abbildung 1 (Kurve A) graphisch wiedergegeben.

Tabelle 1.

Einfluss der Luftstromgeschwindigkeit auf die Transpiration der Milioniapuppen.

Manometer- differenz cm.	Durchgesaugte Luftmenge in 1 Std. ccm.	Körpergewicht g.	Transp. in 1 Std. mg.	Transp. p. Kg. u. Std. g.
3	4600	35.9366	6.5	0.1809
6	6300	36.0924	13.2	0.3657
9	8000	36.0915	22.8	0.6317
12	9800	37.7109	34.1	0.9042
15	13500	35.7668	61.8	1.7278
18	17500	36.5134	103.9	2.8236

Wie man aus Tabelle 1 und Abbildung 1 ersehen kann, hat die bewegte Luft eine Beschleunigung der Wasserdampfabgabe der Tiere zur Folge. Tragen wir nun die Logarithmen dieser Transpirationswerte auf der Ordinatenachse und die der durchgesaugten Luftmenge auf der Abszissenachse ab, so gewinnen wir eine gerade Linie, wie Kurve B in Abbildung 1 zeigt. Aus dieser Geraden leiten wir nun

die Gleichung ab:

$$\log V = k \log W + \log V_0.$$

Diese Formel wird umgeändert in

$$V = W^k + V_0.$$

In diesen Gleichungen ist  $V$  die Geschwindigkeit der Transpiration,  $W$  die durch den Aspirator gesaugte Luftmenge,  $k$  eine Konstante,  $V_0$  der transpirierte Wasserdampf bei Windgeschwindigkeit = 0. In diesem Falle war der Wert von  $k$  gleich 2. Somit geht aus der Formel hervor, dass die Transpiration der Milioniapuppen der Quadratwurzel der Windgeschwindigkeit proportional anwächst.

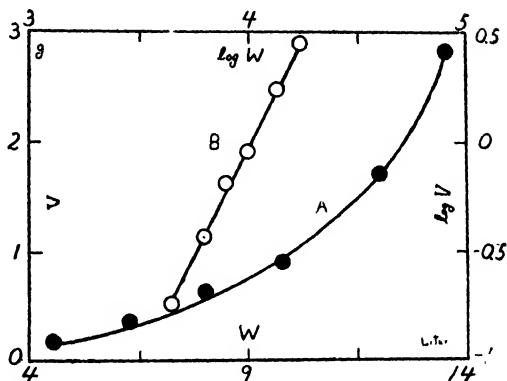


Abb. 1. Einfluss der Luftgeschwindigkeit (Durchgesaugte Luftmenge pro 1 Stunde auf der Abszisse abgetragen) auf die Transpiration (linke Ordinate, Kurve A) bei Milioniapuppen.

Die Windstärke ist, wie allgemein bekannt, der wichtigste Faktor der physikalischen Verdunstungsintensität, aber völlig befriedigende Formeln für die Zunahme der Verdampfungsgeschwindigkeit mit der Windgeschwindigkeit gibt es noch nicht. Es scheint jedoch, dass sie nicht direkt mit der Windgeschwindigkeit zunimmt, sondern entweder mit deren Quadrat- oder Kubikwurzel. Die Perspiration der menschlichen Haut variiert mit der vierten Wurzel der Windstärke (SCHIERBECK 1895). Solche Mannigfaltigkeit des arithmetischen Verhältnisses zwischen Wasserverdunstung und Wind hat vielleicht ihren Grund in der Oberflächenbeschaffenheit der verdunstenden Systeme.

## II. EINFLUSS DES LICHTES

### A. Einleitung

Nun besitzen wir gute Kenntnisse über die Abhängigkeit der tierischen Transpiration von denjenigen atmosphärischen Faktoren, die

einen bedeutenden Einfluss auf die physikalische Verdunstung ausüben. Es kommt aber noch ein Moment in Betracht, nämlich das Licht, das ein ebenso wichtiger Faktor der Wasserdampfausscheidung der lebendigen Organismen ist. Trotzdem ist das Licht bisher weder von Physikern noch von Meteorologen bei Verdunstungserscheinungen genügend beachtet worden.

Das Licht übt im allgemeinen zweierlei Wirkungen aus, nämlich chemische und thermische. Die auffallende Zunahme der Wasserverdunstung im Sonnenlicht ist hauptsächlich auf die thermische Wirkung des Lichtes zurückzuführen.

Obwohl die Tatsache, dass die Pflanzen im Lichte mehr Wasser verlieren als im Dunkeln, längst bekannt ist, haben frühere Autoren geglaubt, dass die Ursache hiervon nur in der Wärme des Lichtes zu suchen sei. Aber zahlreiche neue analytische Untersuchungen berechtigen zu dem Schluss, dass die chemische Energie des Sonnenlichtes auch einen wichtigen Einfluss auf die Transpiration ausübt.

Hinsichtlich der tierischen Transpiration ist die Frage, ob das Licht sie beeinflusse, bisher fast unbeachtet geblieben. Insoweit sie Berücksichtigung fand, kam nur die thermische Energie des Sonnenlichtes in Betracht (SHELFORD 1913). RUBNER und CRAMER (1894) haben schon längst die Beobachtung gemacht, dass Hunde in der Sonne beträchtlich mehr Wasserdampf ausscheiden als im Schatten, sogar bei derselben Lufttemperatur. Ausser dieser Beobachtung kann ich in der Literatur keine Angabe über die chemische Lichtwirkung finden.

Diese mangelhafte Kenntnis über den Lichteinfluss veranlassten mich zur Ausführung mehrerer Versuche darüber, ob direktes Sonnenlicht, helles diffuses Licht und vollkommene Dunkelheit die Transpirationsintensität bei Insekten in verschiedener Weise beeinflussen, ferner, ob die Transpiration mit der Zunahme der Intensität des künstlichen Lichtes, dessen Wärmestrahlen durch entsprechende Wasserfilter eliminiert worden sind, ausgiebiger wird.

## B. Ergebnisse der Untersuchungen

### 1. Transpiration im direkten Sonnenlicht, im diffusen Tageslicht und im Dunkeln

Je 30 Puppen von *Milonia zonea* MOORE habe ich um dieselbe Zeit (10 Uhr vormittags bis 1 Uhr nachmittags am 4. November 1930) in Freien im Sonnenlicht und im Zimmer in hellem diffussem Tageslicht und im Dunkeln aufgestellt. Im Freien war die Sonne wolkenfrei, und es war während der ganzen Versuchsdauer vollkommen windstill. Die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft waren im Zimmer im diffusen Lichte und im Dunkeln fast gleich. Aber im Freien war die Luft merklich wärmer und trockener. Tabelle 2 enthält die Ergebnisse der durch Körpergewichtsbestimmungen ermittelten Transpirationswerte.

Tabelle 2.

Transpiration der Miloniapuppen im Sonnenlichte, diffusen Tageslichte und im Dunkeln.

	Temperatur °C	Rel. Feucht. %	Transpiration p. kg. u. Std. g.		
			Mittel	Maximum	Minimum
Sonnenlicht	30-31	45-46	3.8371	4.3834	3.2892
Diffuses Tageslicht	25-25.5	49-50	1.6745	2.2165	1.2972
Dunkel	24-25	50-51	0.8891	1.1687	0.5934

Die Transpiration der Puppen nahm im direkten Sonnenlicht in solchem Masse zu, dass das ausgeschiedene Wasser etwa das zwei- bzw. vierfache des im diffusen Lichte bzw. Dunkel transpirierten betrug. Da die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft bei den im Zimmer angestellten Versuchen ungefähr dieselbe war, unterliegt es keinem Zweifel, dass der grössere Gewichtsverlust in diffusem Licht als im Dunkel auf chemischer Wirkung der Sonne beruht. Dass erhöhte Temperatur und Trockenheit im direkten Sonnenlicht die Puppentranspiration kräftig gefördert haben, unterliegt keinem Zweifel; die ausserordentlich hohen Transpirationswerte übertreffen

aber die aus der Steigerung dieser beiden Faktoren erwartete Zunahme, so dass auch auf Grund dieses Versuches der chemischen Wirkung des Lichtes ein wesentlicher Anteil an dem Resultat zugeschrieben werden muss.

Die Vermutung, dass die vermehrte Wasserdampfabgabe an heissen sonnenhellen Tagen im Freien eine wichtige Rolle bei der Wärmeregulation der Tiere spiele, wird durch die Ergebnisse der Untersuchungen von BUXTON (1924) und FRANZ (1930) unterstützt. Sie studierten den Wärmehaushalt der sich in starkem heissem Sonnenschein in wüstenartigem Gelände sonnenden Insekten und Reptilien und fanden dabei, dass die Körperwärme dieser Poikilothermen nicht höher ist als die Temperatur der umgebenden Luft oder der Unterlage.

## 2. Lichtintensität und Transpiration

Die soeben geschilderte Versuchsanordnung ist nicht zu empfehlen, wenn man den Lichteinfluss auf die Transpiration exakt erforschen will, da es in solchen Fällen unmöglich ist, den Lichteinfluss von den Wirkungen der Begleitfaktoren zu trennen. So beruht z. B. die transpirationsfördernde Wirkung des Sonnenlichtes sicher in erster Linie auf der durch die Belichtung herbeigeführten Zunahme der Lufttemperatur und -trockenheit; es handelt sich hier eben um eine komplexe Wirkung einer ganzen Reihe physikalischer Faktoren. Folglich müssen die Versuche so angestellt werden, dass alle anderen transpirationsverändernden Faktoren so konstant wie möglich bleiben und nur die Intensität des Lichtes variiert wird.

Ich habe daher zunächst einen Versuch gemacht über die Beziehung der Beleuchtungsintensität des elektrischen Lichtes zur Transpiration. Die Wärmestrahlen des elektrischen Lichtes (Mazda Lampe) wurden durch einen 10 cm. dicken Wasserfilter beseitigt. Dass durch diese Filter die Wärmestrahlen vollständig eliminiert waren, ging daraus hervor, dass die Lichtstrahlen ganz gleiche Temperatur ergaben, nachdem sie den Filter passierten, trotz verschiedener Lichtintensitäten. Das Versuchsmaterial, *Milionia*

*zonea* (30 Puppen zu jedem Versuch), wurde in einer Entfernung von 50 cm. von der Lichtquelle aufgestellt, und die Transpiration wurde durch Körpergewichtsbestimmungen nach dreistündiger Exposition ermittelt. Da ich keinen geeigneten Illuminometer besass, habe ich die Intensität des Lichtes durch die Stärke des elektrischen Stromes (in Amp.) gemessen, der in Verbindung mit ein und derselben als Lichtquelle dienenden Lampe bei ein und derselben Spannung (100 Volt) stand. Über die Beziehungen zwischen Puppentranspiration und so festgestellten Lichtintensitäten gibt die folgende Tabelle Auskunft.

Tabelle 3.

Beziehung der Lichtstärke einer elektrischen Lampe zur Transpiration der Milioniapuppen bei 26°-27° und relat. Feucht. von 65-70%.

Elekt. Strom Amp.	Transpiration p. Kg. u. Std. g.		
	Mittel	Maximum	Minimum
0.01	0.5113	0.6602	0.4459
0.15	0.5125	0.6409	0.4464
0.20	0.5067	0.8194	0.3140
0.40	0.5548	0.8152	0.4068
0.60	0.5404	0.6295	0.4965
1.00	0.6260	0.7095	0.5613

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass schwache Lichtintensitäten (innerhalb der Stromstärken 0.01-0.2 Amp.) keinen Einfluss auf die Transpirationsgrösse ausüben, aber oberhalb einer gewissen Grenze die Transpiration mit der Zunahme der Lichtstärke deutlich ansteigt. Da die Transpirationsintensität, trotzdem das von einer gewöhnlichen elektrischen Lampe ausgehende Licht nur wenig Strahlen von kurzer Wellenlänge enthält, so auffallend beeinflusst wird, müssen wir die chemische Lichtwirkung als ein ziemlich wichtiges Moment bei der biologischen Transpiration betrachten.

Neben der Untersuchung über elektrisches Lampenlicht habe ich auch den Einfluss der Röntgenstrahlen untersucht. In diesem Falle habe ich die Bestrahlungsenergie durch die Expositionsdauer des

Versuchsobjekte (30 Milioniapuppen zu jedem Versuch) in der Entfernung von 50 cm. von der Coolidge-Röhre bei sekundärer elektrischer Spannung von 40.000 Volt und Stromstärke von 5 Milliampere bestimmt. Nach der Exposition sind die Puppen wieder ins Dunkel gebracht worden, wobei Temperatur (26°-27°) und Feuchtigkeit (65-70%) konstant gehalten waren. Die Transpiration wurde durch die Messung des Gewichtsverlustes während 3 Stunden ermittelt. Das Ergebnis ist aus folgender Tabelle zu ersehen.

Tabelle 4.

Einfluss der Röntgenstrahlen auf die Transpiration.

Bestrahlungszeit Min.	Transpiration p. kg. u. Std. g.		
	Mittel	Maximum	Minimum
0	0.5999	0.6454	0.5550
5	0.6153	0.7383	0.5322
10	0.7235	0.9271	0.6677
15	0.9834	1.0682	0.8062
20	1.1240	1.1335	0.9591
25	1.3807	1.5863	1.2801
30	1.7514	2.0071	1.5763

Aus der Tabelle geht deutlich hervor, dass auch sehr kurze Bestrahlung mit X-strahlen eine Transpirationssteigerung hervorruft, und dass je länger die Expositionsdauer, desto grösser die Transpirationswerte.

Ich möchte nun den Einfluss, den Lichtstrahlen bestimmter Wellenlänge auf die Transpiration der Tiere ausüben, erörtern. Die einzelnen Resultate der oben besprochenen Versuche bieten kein geeignetes Material zu diesem Zweck. Aber ein Begriff über die Wirkungsweise der Wellenlänge kann durch folgende Betrachtungen gewonnen werden. Obgleich meine Versuche bei fast gleicher Temperatur (26°-27°) und relativer Feuchtigkeit (65-70%) der Versuchsluft bei Lampenlicht und bei Röntgenstrahlen ausgeführt

wurden, haben die letzteren eine bedeutend grössere Transpirationssteigerung hervorgerufen als das erstere, wie sich aus dem Vergleich der Zahlen der Tabellen 3 und 4 ergibt. Es versteht sich von selbst, dass ein genauer Vergleich der Intensität der beiden Lichtquellen unmöglich ist, man kann aber mit Wahrscheinlichkeit folgenden Schluss ziehen. Es lässt sich nicht bezweifeln, dass die Lichtstrahlen von kürzerer Wellenlänge im allgemeinen einen grösseren Einfluss auf die Transpiration ausüben als die von längerer Wellenlänge, nachdem die Wärmestrahlen eliminiert worden sind.

### III. ZUSAMMENFASSUNG

Einfluss der Luftbewegung. Die Luftbewegung ruft eine Beschleunigung der Insektentranspiration hervor, und zwar in solcher Weise, dass die Transpiration mit der Quadratwurzel der Luftgeschwindigkeit proportional zunimmt.

Einfluss des Lichtes. Sonnenlicht, direktes und diffuses, elektrisches Licht und Röntgenstrahlen rufen eine Steigerung der Wasserdampfausscheidung bei Insekten hervor. Daraus folgt, dass nicht nur die Wärmestrahlen, sondern auch die chemischen Strahlen eine wichtige fördernde Komponente der tierischen Transpiration sind.

### IV. LITERATUR

- BURGERSTEIN, A.: Die Transpiration der Pflanzen. I. u. II. Jena (1904 u. 1920).  
 BUXTON, P. A.: Heat, moisture and animal life in deserts. Proc. roy. Soc. Lond. B. XCVI, 123-131 (1924).  
 FRANZ, H.: Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Poikilothermen. Biol. Ztbl. L, 158-182 (1930).  
 REINHARD, C.: Beobachtungen über die Abgabe von Kohlensäure und Wasserdunst durch die Perspiratio cutanea. Z. Biol. V, 28-60 (1869).  
 RUBNER, M. u. CRAMER, C.: Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlung auf Stoffzersetzung, Wärmebildung und Wasserdampfabgabe bei Tieren. Arch. Hyg. XX, 345-364 (1894).  
 SEYBOLD, A.: Die physikalischen Komponente der pflanzlichen Transpiration. Berlin (1929).



- SCHIERBECK, N. P.: Ueber die Bestimmung des Feuchtigkeitsgrades der Luft für physiologische und hygienische Zwecke. Arch. Hyg. XXV, 196-226 (1895).
- SHELFORD, V. E.: The reactions of certain animals to gradients of evaporating power of air. Biol. Bull. XXV, 79-120 (1913).
- WEYRICH, V.: Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut. Leipzig (1862).
- WOLPERT, H.: Einfluss der Luftbewegung auf Wasserdampf- und Kohlensäureabgabe des Menschen. Arch. Hyg. XXXIII, 206-228 (1898).

# VII. MITTEILUNG : UEBER DEN ZEITLICHEN VERLAUF DER TRANSPIRATION VERSCHIEDENER INSEKTEN BEI VERSCHIEDENER LUFFTFEUCHTIGKEIT

(Mit 24 Textabbildungen)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 21, 1933)

## Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung...	138
B. Methode ...	139
C. Ergebnisse der Untersuchungen ...	140
I. Zeitlicher Verlauf der Wasserverdunstung aus toten Insekten...	140
a. Puppen von <i>Milionia zonea</i> MOORE ...	140
b. Imagines von <i>Danais plexippus</i> L. ...	141
c. Puppen von <i>Bombyx mori</i> L. ...	142
d. Larven von <i>Dermestes sp.</i> ...	143
II. Zeitlicher Verlauf der kutikulären Transpiration ...	145
III. Zeitlicher Verlauf der gesamten Transpiration leben- der Puppen ...	146
a. Puppen von <i>Milionia zonea</i> MOORE ...	146
b. Imagines von <i>Danais plexippus</i> L. ...	150
c. Puppen von <i>Bombyx mori</i> L. ...	151
d. Imagines von <i>Gastrimargus transversus</i> THUNBERG ...	153
e. Larven von <i>Rhynchophorus longimanus</i> FAB. ...	154
f. Larven von <i>Schoenobius incertellus</i> WALKER ...	155
g. Puppen von <i>Chaetodacus cucurbitae</i> COQ. ...	156
h. Imagines von <i>Anomala expansa</i> BATES ...	159
i. Larven von <i>Dermestes sp.</i> ...	160
j. <i>Lepisma saccharina</i> L. ...	165
k. Puppen von <i>Saturnia pyretorum</i> WESTW. ...	167
D. Verschiedene Typen des Transpirationsverlaufes ...	169
E. Zusammenfassung...	177
F. Literatur ...	179

## A. EINLEITUNG

Wenn man bei Lebewesen einen Zustand oder Vorgang genau erfassen will, muss man sämtliche Bedingungen, die in enger Beziehung zu der betreffenden Erscheinung stehen, analysieren, da nur die Gesamtheit der Bedingungen eine komplexe Erscheinung eindeutig charakterisieren kann. Die Summe sämtlicher äusseren Faktoren, die das Leben eines Organismus bestimmen – deren Veränderungen als Reiz aufgefasst werden – kann man als das Produkt ihres Intensitäts- und Kapazitätsfaktors definieren. Diesen Kapazitätsfaktor stellt in den meisten Fällen die Zeit dar, denn die Wirkung der Reize ist vor allem von ihrer Quantität, d. h. von der Dauer ihrer Wirkung abhängig. Die Zeit ist, wie BLACKMAN (1905) schon vor langem anlässlich der Abhängigkeit der Kohlensäure-assimilation der Pflanzen von den Aussenbedingungen betonte, als ein "limiting factor" (begrenzender Faktor) eines ganzen Prozesses von so grosser Wichtigkeit, dass sie auf keinen Fall unberücksichtigt bleiben darf. Aus dieser Überlegung ergibt sich, dass es sich empfiehlt, Lebensprozesse, die unter irgend einer Bedingung gründlich erforscht werden sollen, als Zeitfunktionen aufzufassen.

Ist die Intensität jeder Bedingung normal oder optimal, dann muss der in Frage stehende Lebensprozess in seinem Verlaufe normale konstante Geschwindigkeit aufweisen. Bei anormaler Intensität bzw. Quantität der Bedingungen ist die Geschwindigkeit eines Lebensvorganges nicht konstant, sondern verändert sich mit der Zeit.

Was ich oben gesagt habe, gilt im Prinzip auch für den Vorgang der Wasserdampfausscheidung der Lebewesen. Ein derartiges Untersuchungsverfahren muss zweifellos gute Dienste bei der Beurteilung der Unterschiede zwischen biologischer Transpiration und physikalischer Evaporation leisten.

Da der Vorgang der Wasserverdunstung auch bei lebenden Organismen vorhanden ist, liegt wohl vom theoretischen Standpunkt aus die Annahme nahe, dass die biologische Transpiration nicht immer konform mit den Veränderungen der äusseren sie beeinflus-

senden Faktoren verläuft, sondern in den meisten Fällen je nach den Körperzuständen ihre Geschwindigkeit verändert, obgleich sie in hohem Grade mit der physikalischen Wasserevaporation aus unbelebten Körpern verwandt ist, wie sich aus den vorangegangenen Mitteilungen ergibt. Wenn es sich um eine Bedingung handelt, die eine anormale Intensität für den untersuchten Vorgang besitzt, wird ihre Wirkung dadurch modifiziert werden, dass eine Regulation seitens des lebenden Organismus betreffs der Reaktion mit der Zeit zustande kommt. Wirkt z. B. trockene Luft längere Zeit ein, dann wird die Wasserdampfabgabe abnehmen, weil die Transpiration zwar einerseits ein Prozess von physiologischer Notwendigkeit für die Wärmeregulation der Lebewesen ist, andererseits aber diese in direkte Gefahr der Austrocknung bringen kann. Der zeitliche Verlauf der biologischen Transpiration ist also nicht immer gleich mit dem der physikalischen Evaporation. Um die Unterschiede zwischen diesen beiden Prozessen und eventuelle Regulationserscheinungen der Lebewesen gründlich zu erforschen, sollen Kurvenformen des zeitlichen Verlaufes der beiden Arten von Wasserverdunstung genau miteinander verglichen werden.

## B. METHODE

Für die Bestimmung der physikalischen Verdunstung und den Vergleich zwischen biologischer Transpiration und physikalischer Evaporation werden Evaporimeter von verschiedenen Typen angewendet, besonders das amerikanische Atomometer von LIVINGSTON. Wir haben aber vorgezogen, ein derartiges Instrument nicht zu benutzen, weil der Einfluss der äusseren Bedingungen auf die Verdunstung sich je nach der Form, Grösse und anderen Beschaffenheiten der verdunstenden Oberfläche verändert. Deshalb sind die mittels Evaporimeter gewonnenen Daten nur bedingungsweise und approximativ richtig, wie MAXIMOV (1929) betonte. Aus Evaporimetern verschiedener Typen gewonnene Daten dürften voneinander abweichen und in noch höherem Grade von den aus der Oberfläche des tierischen oder pflanzlichen Körpers gewonnenen Zahlen. Aus

diesem Grunde betrachte ich die Wasserverdunstung aus Leichen der zu untersuchenden Art als die beste Methode, da diese sich von den lebenden Insekten nur in dem einen Punkte, dass sie leblos sind, unterscheiden. Die Tiere wurden durch einstündige Berührung mit Blausäuregas getötet und sofort nach dem Tode zu Versuchszwecken benutzt. Ausser dem zeitlichen Verlauf der Verdunstung aus getöteten Tieren, ist der Verlauf der kutikulären Transpiration, die aus Tieren mit inaktiven Stigmen stattfindet, neben der normalen Transpiration studiert worden. Die Temperatur betrug in allen Fällen 26°C. mit Ausnahme des in Tabelle 7 wiedergegebenen Versuches, der bei 15°C. ausgeführt wurde.

### C. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

#### I. Zeitlicher Verlauf der Wasserverdunstung aus toten Insekten

##### a. Puppen von *Milionia zonea* MOORE (Lepidoptera : Geometridae)

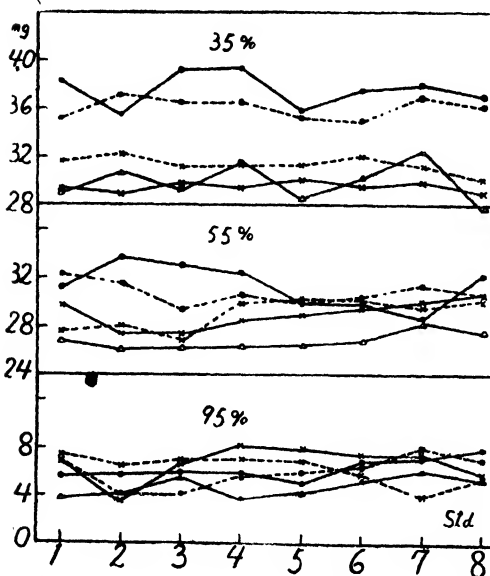


Abb. 1. Graphische Darstellung der Tabelle 1. Abszisse: Zeit; Ordinate: Einstündiger Transpirationswert. •—• I, .....• II, x—x III, x.....x IV, Δ—Δ V.

Die Wasserverdunstung der verstorbenen Puppen von *Milionia zonea* wurde jede Stunde im Zeitraum von acht Stunden in rel. Luftfeuchtigkeiten von 35, 55 und 95% bestimmt. Die evaporierte Wassermenge wurde für jedes Feuchtigkeitsprozent durch den Gewichtsverlust von 5 aus je 5 Puppen bestehenden Gruppen festgestellt. Das Resultat der Messungen ist in Tabelle 1 und in Abbildung 1\* gegeben.

\* In allen entsprechenden Abbildungen dieser Mitteilung (Abb. 1-14) ist auf der Abszisse die Zeit in Stunden, auf der Ordinate der absolute einstündige Wert der Wasserdampfabgabe in mg oder g abgetragen. Linie •—• Gruppe I, ..... Gruppe II, x—x Gruppe III, x.....x Gruppe IV, Δ—Δ Gruppe V.

Tabelle 1,

Getötete Puppen von *Milionia zonea* MOORE. Anfangskörpergewicht in g.:  
 Bei 35%: I. 4.2159, II. 4.2689, III. 3.6751, IV. 3.8235, V. 3.7340—Bei 55%: I. 3.5689, II. 4.0012, III. 4.4416, IV. 3.9923, V. 3.8641—Bei 95%: I. 4.0132, II. 3.9561, III. 3.6453, IV. 3.5561, V. 3.3399.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampf- abgabe mg.														
	bei 35% rel. Feucht.					bei 55% rel. Feucht.					bei 95% rel. Feucht.				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	38.3	35.2	29.4	31.7	29.0	31.2	32.3	29.8	27.7	26.8	5.8	6.9	7.0	7.4	3.9
2	35.5	37.1	28.9	32.2	30.7	33.7	31.6	27.5	28.1	26.2	5.9	4.2	3.5	6.4	4.2
3	39.2	36.5	29.8	31.3	29.6	33.1	29.4	27.5	26.9	26.3	5.9	4.2	6.7	6.9	5.8
4	39.3	36.6	29.6	31.4	31.5	32.5	30.6	28.6	30.0	26.4	5.9	5.7	8.2	7.1	3.9
5	35.8	35.3	30.1	31.5	28.7	30.0	30.1	29.0	30.2	26.5	5.1	5.9	8.0	7.0	4.4
6	37.5	35.0	29.7	32.1	30.3	29.9	30.4	29.6	30.3	27.0	6.8	6.6	7.4	5.8	5.4
7	37.9	37.0	30.0	31.2	32.5	28.7	31.5	30.1	29.7	28.4	7.2	8.0	7.6	4.0	6.2
8	36.9	36.2	29.0	30.2	27.8	32.3	30.7	30.7	30.1	27.6	8.0	7.2	5.8	5.6	5.6

Aus Tabelle und Abbildung ist zu ersehen, dass die Wasserdampf-  
 abgabe dieser toten Tiere mit der Zeit im grossen und ganzen  
 weder steigt noch fällt bei den untersuchten Feuchtigkeiten, obwohl  
 es einige Schwankungen gibt. Die Kurven verlaufen daher in allen  
 Fällen parallel zur Abszissenachse.

b. Imagines von *Danaïs plexippus* L. (Lepidoptera: Danaidae)

Bei toten Schmetterlingen von *Danaïs plexippus* wurden Versuche bei relativen Feuchtigkeiten von 40, 60 und 90% ausgeführt. Für jeden Versuch sind vier Tiere benutzt worden. Die Versuchsdauer betrug 7 Stunden. Auch bei dieser Insektenart war die Verdunstung, wie bei Milioniapuppen, unabhängig

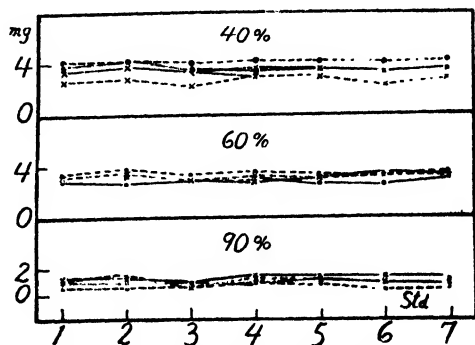


Abb. 2. Graphische Darstellung der  
 Tabelle 2.

von der Trockenheit der Luft fast konstant innerhalb der untersuchten Zeitdauer. Man kann aus vorstehender Abbildung die Ergebnisse noch klarer ansehen.

Tabelle 2.

Getötete Schmetterlinge von *Danais plexippus* L. Anfangskörpergewicht in mg.: Bei 40%: I. 19.68, II. 23.27, III. 20.34, IV. 24.56—Bei 60%: I. 20.38, II. 21.21, III. 22.89, IV. 23.21—Bei 90%: I. 14.38, II. 16.29, III. 19.73, IV. 19.77.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.											
	bei 40% r. F.				bei 60% r. F.				bei 90% r. F.			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	3.9	4.2	3.7	2.7	2.9	3.4	3.2	3.3	1.0	0.7	1.3	1.1
2	4.2	4.2	3.8	2.9	2.7	3.8	3.3	3.6	1.0	0.7	1.4	1.5
3	3.7	4.1	3.6	2.3	3.0	3.4	3.0	3.0	0.9	0.8	0.9	0.8
4	3.5	4.3	3.6	3.0	3.1	3.5	2.9	3.2	1.0	1.0	1.5	1.2
5	3.6	4.2	3.5	3.0	2.7	3.3	3.1	3.2	1.1	0.9	1.4	1.0
6	3.5	4.1	3.4	2.4	2.5	3.3	3.4	3.3	1.0	0.5	1.5	1.0
7	3.6	4.3	3.6	2.9	3.0	3.6	3.1	3.4	1.0	0.6	1.3	1.0

### c. Puppen von *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae)

Die Versuche mit Bombyxpuppen wurden bei 30, 70 und 90%

rel. Feuchtigkeit gemacht.

Die Daten sind in Tabelle 3 gegeben und in den Kurven der Abbildung 3 graphisch dargestellt. Jede der in der Tabelle verzeichneten Zahlen ist aus einer Gruppe von 4 Puppen gewonnen. Die Ergebnisse dieses Versuchs stimmen vollkommen mit den Befunden bei den zwei oben untersuchten Arten überein.

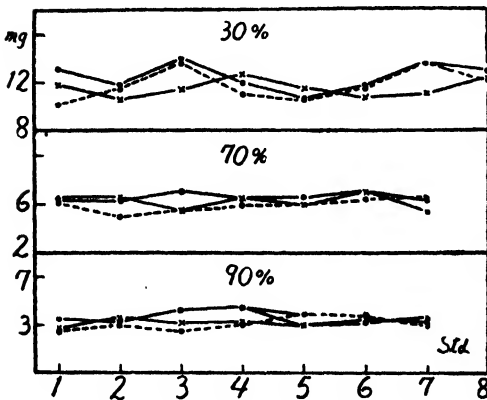


Abb. 3. Graphische Darstellung der Tabelle 3.

Tabelle 3.

Getötete Puppen von *Bombyx mori* L. Anfangskörpergewicht in g.: Bei 30%: I. 5.3490, II. 5.5522, III. 5.4518—Bei 70%: I. 4.8745, II. 4.7320, III. 5.0530. Bei 90%: I. 4.6992, II. 5.1113, III. 4.2762.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.								
	bei 30% r. F.			bei 70% r. F.			bei 90% r. F.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	13.1	10.2	11.9	6.3	6.0	6.5	3.6	2.6	2.7
2	11.8	11.5	10.6	6.2	5.0	6.5	3.3	3.0	3.7
3	14.0	13.6	11.4	7.0	5.5	5.5	4.3	2.6	3.2
4	12.0	11.0	13.5	6.5	6.0	6.5	4.5	3.1	3.3
5	10.7	10.5	11.5	6.5	6.0	6.0	3.1	3.9	3.1
6	11.7	11.5	10.9	7.0	6.5	7.0	3.3	3.8	3.5
7	13.5	13.5	11.1	6.3	6.5	5.5	3.7	3.0	3.4
8	13.0	12.2	12.3	—	—	—	—	—	—

#### d. Larven von *Dermestes* sp. (Coleoptera: Dermestidae)

Wie sich aus später zu beschreibenden Experimenten ergeben wird, weicht der zeitliche Gang der Transpiration der lebenden *Dermestes*larven auffallend

von dem der anderen untersuchten Insekten ab. Zeitabschnitte (je 1 Stunde), in welchen die Transpiration ganz stillsteht, wechseln mit solchen ab, in denen die Larven merklich transpirieren. Wenn hingegen durch die giftige Wirkung des Blausäuregases der Tod eingetreten ist, geben die Larven

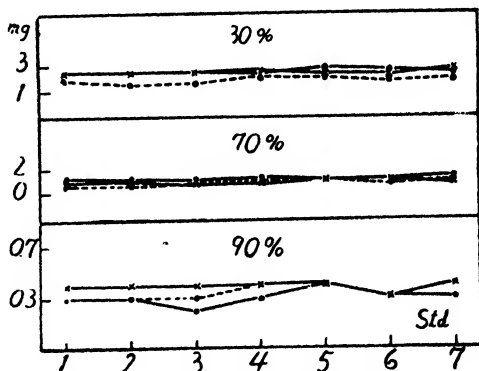


Abb. 4. Graphische Darstellung der Tabelle 4.

dauernd Wasser ab und stellen auf keinen Fall die Verdunstung ein. Die Verhältnisse des stündlichen Verlaufes sind bei allen



Feuchtigkeitsgraden ganz ähnlich denen der oben beschriebenen Insekten und werden durch Kurven repräsentiert, die zur Abszissenachse parallel laufen. Siehe Tabelle 4 und Abbildung 4.

Tabelle 4.

Getötete Larven von *Dermestes* sp. Anfangskörpergewicht in mg.: Bei 30%: I. 84.5, II. 76.7, III. 80.3—Bei 70%: I. 90.1, II. 81.2, III. 80.0—Bei 90%: I. 79.9, II. 82.3, III. 85.7.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.								
	bei 30% r. F.			bei 70% r. F.			bei 90% r. F.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2.5	1.9	2.5	1.3	0.8	1.0	0.3	0.3	0.4
2	2.5	1.6	2.5	1.2	0.8	1.1	0.3	0.3	0.4
3	2.6	1.6	2.6	1.2	1.0	0.9	0.2	0.3	0.4
4	2.4	2.1	2.5	1.3	1.1	1.0	0.3	0.4	0.4
5	2.7	2.0	2.4	1.1	1.0	1.0	0.4	0.2	0.4
6	2.6	1.7	2.5	1.0	0.8	1.0	0.3	0.2	0.3
7	2.4	1.9	2.6	1.3	1.1	0.9	0.3	0.4	0.4

Aus den Tabellen 1-4 geht hervor, dass die gesamte Menge des in gegebener Zeiteinheit evaporierten Wassers in Versuchen mit toten Insekten bei trockener Luft grösser ist als bei feuchter. Betreffs der Beziehungen des Evaporationsganges zur Zeit sind in den verschiedenen Versuchen keine Unterschiede nachweisbar, auch nicht bei verschiedenen Insektenarten. Die graphische Darstellung der stündlichen Werte findet stets ihren Ausdruck in einer zur Abszissenachse parallel laufenden Geraden. Dieser Befund bezieht sich nur auf die Versuchsdauer von 7-8 Stunden; ob das Bild bei noch längerer Beobachtung das gleiche ist, muss vorläufig dahingestellt bleiben. Vielleicht wird die Verdunstung mit der Zeit geringer, wenn der Versuch bei trockener Luft mehrere Tage fortgesetzt wird. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass der Wasserdampfverlust der getöteten Insekten im allgemeinen mit konstanter Geschwindigkeit verläuft,

nicht nur in feuchter, sondern auch in trockener Luft, wenigstens im Zeitraum von 10 Stunden.

## II. Zeitlicher Verlauf der kutikulären Transpiration

Bei kutikulärer Transpiration wurden die Beobachtungen nur an Bombyxpuppen gemacht. Je 3 Gruppen von Puppen, deren sämtliche Stigmenöffnungen mit Vaseline eingerieben worden sind, wurden zu jedem Versuche gebraucht (jede Gruppe bestand aus 4 Puppen). Die relative Feuchtigkeit der Luft betrug 30, 70 und 90%, die Temperatur 26°. Tabelle 5 und Abbildung 5 enthalten das Resultat.

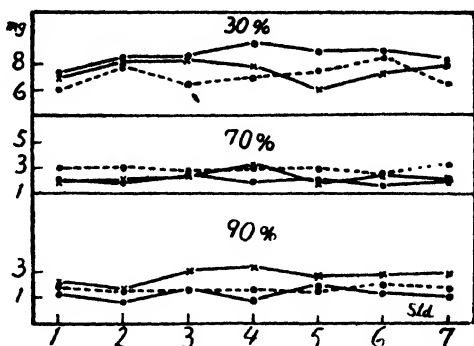


Abb. 5. Graphische Darstellung der Tabelle 5.

Tabelle 5.

Kutikuläre Transpiration der Puppen von *Bombyx mori* L. Anfangskörpergewicht in g.: Bei 30%: I. 4.9932, II. 5.3018, III. 5.0029—Bei 70%: I. 5.1764, II. 5.7647, III. 4.7080—Bei 90%: I. 4.7671, II. 5.2530, III. 5.5646.

Zeit. n. Vers. beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.								
	bei 30% r. F.			bei 70% r. F.			bei 90% r. F.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	7.3	6.0	7.0	2.2	3.0	2.1	1.3	1.9	2.3
2	8.5	7.9	8.2	1.9	3.1	2.1	0.7	1.6	1.7
3	8.7	6.5	8.4	2.6	2.8	2.6	1.7	1.7	3.1
4	9.6	7.0	7.9	2.0	3.0	3.2	0.8	1.7	3.4
5	9.0	7.5	6.0	2.1	3.0	1.8	1.9	1.6	2.7
6	9.0	8.5	7.3	1.7	2.6	2.5	1.5	2.0	2.8
7	8.4	6.4	7.8	2.0	3.2	2.2	1.1	1.7	2.9

Der Gang der kutikulären Wasserdampfabgabe weist mit der Zeit keine Veränderung auf, sondern bleibt konstant, völlig unabhängig von der Luftfeuchtigkeit, wie wir es bei der Verdunstung nach dem Tode gesehen haben. Daraus kann man schliessen, dass, soweit es sich um Bombyxpuppen handelt, die Haut keine Vorrichtung zur Regulierung der Wasserdampfabgabe besitzt.

### III. Zeitlicher Verlauf der gesamten Transpiration der lebenden Insekten

Wie ich gezeigt habe, weist die Wasserdampfabgabe der toten Insekten sowie auch die kutikuläre Transpiration im Laufe von 8 Stunden dauernden Versuchen stets die gleichen Werte auf, unabhängig von der Luftfeuchtigkeit. Bei lebenden Insekten dagegen variiert der Transpirationsverlauf stark und zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit und – auch bei derselben Feuchtigkeit – von der Tierart, deren Habitat und Körperstruktur. Aus diesem Grunde kann die biologische Transpiration nicht als ein gleicher Vorgang wie die physikalische Verdunstung betrachtet werden.

Im folgenden wird eine Beschreibung der Einzelversuche mit zahlreichen Insekten bei verschiedener Feuchtigkeit gegeben, die mich zu diesem Schluss geführt haben. Alle Versuche wurden bei konstanter Lufttemperatur von 26° ausgeführt, wie die Versuche mit toten Tieren und solchen mit geschlossenen Stigmen.

#### a. Puppen von *Milionia zonea* MOORE

Die Larven dieser Spezies nähren sich in Formosa in der Hauptsache von Blättern von *Podocarpus macrophylla* DON. und *P. nagi* PILGEV und graben sich in erwachsenem Zustand unter Bäumen ein, um dort die Puppenperiode zu verbringen. Die Puppenester, denen die Versuchspuppen entnommen wurden, befanden sich meistens 3–5 cm. unter dem Erdboden. Die Erde unter den Bäumen war nackt, frei von Vegetation und immer trocken. Solche in der Erde nahe

unter der Oberfläche lebende Insekten stehen unter verhältnismässig unbehinderter Einwirkung der freien Luft, trotzdem sie als unterirdisch bezeichnet werden. Die Puppenhaut ist daher keineswegs nass, sondern immer trocken und glänzend.

Die stündliche Transpiration wurde bestimmt bei 5 Gruppen von Puppen (jede Gruppe umfasste 5 Puppen) bei konstanten Luftfeuchtigkeitswerten von 35, 55 und 95%. Das Resultat der Messungen ist in Tabelle 6 und Abbildung 6 gegeben.

Der stundenweise Verlauf der Wasserdampfabgabe der lebenden *Milionia*-puppen bei 35 und 55% rel. Feuchtigkeit unterscheidet sich von dem der toten Insekten und solcher mit inaktiven Stigmen.

Bei 35% rel. Feuchtigkeit registrierte ich in der ersten Stunde ziemlich hohe Transpirationswerte bei allen Gruppen, in der zweiten sank die Transpiration jedoch plötzlich auf etwa 70% der zuerst gewonnenen Werte; darum gehen alle Transpirationskurven in diesem Zeitraum herunter. Danach aber stellte sich die Transpiration jeder Gruppe auf ein konstantes Niveau bis zur achten Stunde ein, so dass alle zunächst abfallenden Kurven in Linien übergehen, die zur Abszissenachse parallel laufen.

Bei 55% Feuchtigkeit findet keine plötzliche Herabsetzung in der zweiten Stunde statt. Die Transpiration hält sich aber nicht auf derselben Höhe, sondern wird allmählich immer geringer. Nach 8 Stunden macht die Abnahme ziemlich viel aus.

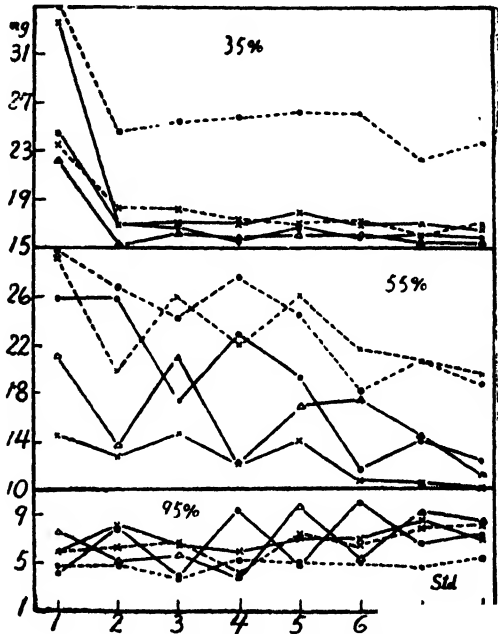


Abb. 6. Graphische Darstellung der Tabelle 6.

Tabelle 6.

Lebende Puppen von *Milionia zonea* MOORE. Anfangskörpergewicht in g.:

Bei 35%: I. 3.9162, II. 3.7802, III. 3.6689, IV. 4.2201, V. 3.6339—Bei 55%: I. 3.6091, II. 3.2360, III. 3.2006, IV. 3.2372, V. 3.2601—Bei 95%: I. 3.3217, II. 3.3431, III. 3.3431, IV. 3.3588, V. 3.3452.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.														
	bei 35% rel. Feucht.					bei 55% rel. Feucht.					bei 95% rel. Feucht.				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	24.6	35.1	33.7	23.6	22.3	25.9	29.9	14.6	29.2	21.2	4.2	4.8	6.0	6.0	7.5
2	16.9	24.5	16.9	18.3	15.3	25.8	26.9	12.9	19.9	13.8	8.0	4.9	8.1	6.4	5.2
3	16.7	25.5	17.1	18.3	16.3	17.4	24.2	14.8	26.0	21.0	4.0	3.8	6.5	6.8	5.8
4	15.7	25.8	17.0	17.5	15.8	22.9	27.7	12.2	22.1	12.3	9.5	5.2	6.0	4.3	3.9
5	16.8	26.2	18.0	16.9	16.1	19.4	24.5	14.2	26.0	16.9	4.9	5.1	7.1	7.5	9.8
6	15.9	26.2	16.9	17.1	15.9	11.8	18.1	10.9	21.7	17.7	10.1	5.0	7.1	6.5	5.5
7	16.0	22.2	17.0	15.9	15.5	14.1	20.7	10.7	20.7	14.5	6.6	4.7	8.6	8.0	9.2
8	15.9	23.6	16.5	17.0	15.5	12.5	18.8	10.2	19.6	11.4	7.4	5.5	6.8	8.1	8.3

Bei 95% Feuchtigkeit finden wir keinen Unterschied im Transpirationsverlauf zwischen lebenden und toten Insekten, d. h. alle Kurven stellen sich von Anfang bis zu Ende auf ein konstantes Niveau ein, wie wir es bei toten Puppen bei allen untersuchten Feuchtigkeiten gesehen haben.

Diese Ergebnisse berechtigen zu der Annahme, dass die untersuchten Insekten ihre Transpiration zu regulieren vermögen; durch Verhinderung zu starken Wasserverlustes wirken sie dadurch der Gefahr der Austrocknung entgegen. Die Tatsache, dass bei sehr feuchter Luft, wie 95% rel. Feuchtigkeit, die Wasserdampfabgabe keine Abnahme im Laufe des Versuches aufweist, unterstützt diese Annahme.

Ich habe früher (s. Mitteilung IV und V) durch direkte Untersuchungen ermittelt, dass sehr trockene Luft eine kleinere Transpiration der Miloniapuppen als weniger trockene Luft bei gewöhnlichen oder hohen Temperaturen zur Folge hat, was aber bei niedrigen Temperaturen von 10° und 15°C nicht gilt. Wenn wir nun

die anfänglich plötzliche oder stufenweise sinkenden Transpirationsverläufe bei trockener Luft ins Auge fassen, die man aus zahlreichen bisher veröffentlichten Tabellen und Abbildungen ansehen kann, dann sehen wir, dass die Ursache der Transpirationsabnahme bei trockener Luft im zeitlichen Verlauf der Transpiration der Tiere zu suchen ist.

Wenn das der Fall ist, dann hätten wir bei tiefen Temperaturen solche Kurven des Transpirationsverlaufes bei trockener Luft nicht zu erwarten. Um in diese Frage Klarheit zu bringen, habe ich mit Miloniapuppen ganz ähnliche Versuche bei 15° und rel. Feuchtigkeit von 35, 65 und 80% angestellt.

Die Daten sind in Tabelle 7 aufgeführt und in der Abbildung 7 graphisch dargestellt.

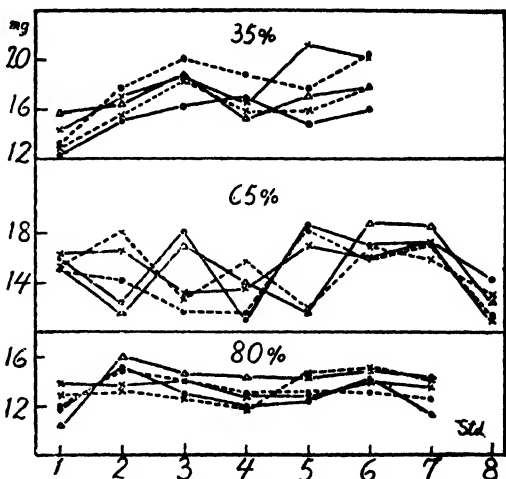


Abb. 7. Graphische Darstellung der Tabelle 7.

Tabelle 7.

Lebende Puppen von *Milonia zonea* MOORE bei Temperatur 15°C. Anfangskörpergewicht in g.: Bei 35%; I. 3.8148, II. 4.4656, III. 4.1269, IV. 3.1209, V. 4.2209.—Bei 65%: I. 4.2825, II. 4.3260, III. 4.2147, IV. 4.4894, V. 4.2807.—Bei 80%: I. 3.0768, II. 3.2792, III. 3.9836, IV. 3.0010, V. 3.0899.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.														
	bei 35% rel. Feucht.					bei 65% rel. Feucht.					bei 80% rel. Feucht.				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	12.3	13.2	14.3	12.9	15.7	15.9	15.0	16.3	15.4	15.2	11.8	12.0	13.9	13.0	10.5
2	15.1	17.7	17.0	15.5	16.4	12.4	15.2	16.7	18.0	11.6	15.1	14.9	13.7	13.2	16.0
3	16.3	20.1	18.7	18.4	18.8	18.1	11.7	13.2	12.7	17.0	13.0	14.1	14.1	12.6	14.6
4	16.9	18.7	16.4	15.8	15.2	11.0	11.6	13.5	15.8	14.0	12.0	13.1	12.8	11.7	14.3
5	14.8	17.6	21.2	15.9	17.0	18.6	18.2	17.0	12.0	11.6	12.4	13.2	12.7	14.7	14.2
6	16.0	20.5	20.2	17.9	17.8	17.0	15.8	16.0	16.9	18.3	14.3	13.1	14.0	15.1	14.8
7	—	—	—	—	—	17.2	17.1	17.1	15.9	18.6	11.4	12.6	13.5	14.1	14.4
8	—	—	—	—	—	14.2	11.4	11.0	13.0	12.4	—	—	—	—	—

Aus den Zahlen und Kurven erkennen wir deutlich, dass, wie erwartet, die Transpiration bei dieser niedrigen Temperatur keine Abnahme mit der Zeit aufweist, nicht nur bei 65 oder 80%, sondern auch bei trockener Luft wie 35% rel. Feucht., folglich laufen alle Kurven vom Anfang bis zum Schluss des Versuches parallel zur Abszissenachse. Dieser Versuch bestätigt also meine oft ausgesprochene Ansicht, dass die Transpirationsregulation nicht nur von der Trockenheit der umgebenden Luft, sondern auch von der Temperatur abhängt.

#### b. Imagines von *Danaïx plexippus* L.

Dieser lebhaft hin und her herumfliegende Schmetterling kommt in unserer Umgebung häufig vor.

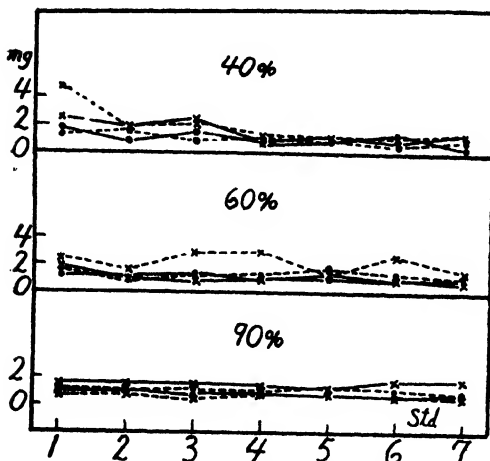


Abb. 8. Graphische Darstellung der Tabelle 8.

4 Imagines für jede Feuchtigkeit) zeigen Tabelle 8 und Abbildung 8.

Bei 40% rel. Feuchtigkeit wiesen alle Schmetterlinge einen mit der Zeit im grossen und ganzen herabsinkenden Transpirationsgang auf, wenn auch im einzelnen grössere oder kleinere Schwankungen vorhanden waren. Nur bei Individuum IV fand eine bedeutende Transpirationsabnahme in der zweiten Stunde statt.

Bei 60% rel. Feuchtigkeit zeigten die Tiere den gleichen Transpirationswert, von Anfang bis zum Schluss des Versuches, mit

Je einen Schmetterling habe ich durch Hineinsetzen in ein seiner Körpergrösse entsprechendes Drahtnetzkästchen des Flugvermögens beraubt. Jedes Kästchen wurde in einem Hygrothermostat von bestimmter konstanter Luftfeuchtigkeit untergebracht.

Die Untersuchungsergebnisse bei 40, 60 und 90% rel. Feuchtigkeit (je

Ausnahme des Individuums III, bei dem die Transpiration von der zweiten Stunde an im Abnehmen begriffen war.

Tabelle 8.

Lebende Schmetterlinge von *Danaus plexippus* L. Anfangsgewicht in mg.: Bei 40%: I. 23.80, II. 24.67, III. 18.68, IV. 25.31—Bei 60%: I. 20.72, II. 19.92, III. 15.34, IV. 17.95—Bei 90%: I. 20.59, II. 19.72, III. 20.01, IV. 15.87.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.											
	bei 40% r. F.				bei 60% r. F.				bei 90% r. F.			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	1.7	1.3	2.6	4.7	1.2	1.7	1.8	2.5	0.9	1.1	1.5	0.7
2	0.8	1.5	1.8	1.8	1.2	0.8	1.0	1.7	1.0	1.0	1.5	0.7
3	1.5	0.9	2.4	2.2	1.4	1.3	0.9	2.8	0.8	1.2	1.6	0.5
4	0.8	1.0	0.8	1.2	1.0	1.4	1.0	3.0	0.8	1.1	1.4	0.9
5	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.8	1.1	1.4	0.7	1.2	1.7	0.6
6	1.3	0.5	0.8	1.2	1.0	1.4	1.0	2.6	0.7	1.2	1.7	0.6
7	0.3	0.9	1.3	1.3	1.0	1.0	0.8	1.5	0.9	1.0	1.8	0.7

Der Verlauf bei 90% rel. Feuchtigkeit stimmt durchaus damit überein, was ich schon bei dieser und anderen Feuchtigkeiten für die toten Imagines dieser Art und für *Milionia*-puppen bei derselben Feuchtigkeit gefunden habe.

#### c. Puppen von *Bombyx mori* L.

Diese Puppen bringen, wie allgemein bekannt, ihr ganzes Leben in selbstgesponnenen Kokons zu.

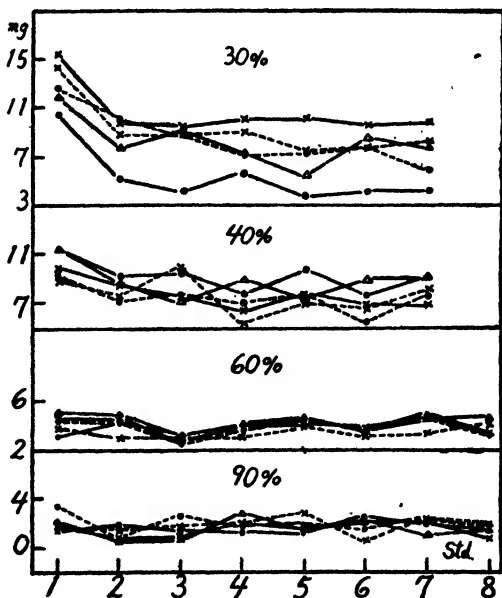


Abb. 9. Graphische Darstellung der Tabelle 9.



Die Versuche wurden bei vier Feuchtigkeitsprozenten, nämlich 30, 40, 60 und 90% ausgeführt (5 aus je 5 Puppen bestehende Gruppen zu jeder Feuchtigkeit).

Die gewonnenen Zahlen und Kurven siehe in Tabelle 9 und Abbildung 9.

Tabelle 9.

Lebende Puppen von *Bombys mori* L. Anfangsgewicht in g.: Bei 30%: I. 6.2634, II. 6.3897, III. 6.8430, IV. 6.2789, V. 6.3002—Bei 40%: I. 7.8277, II. 7.4251, III. 7.5699, IV. 7.4465, V. 7.3449—Bei 60%: I. 6.8556, II. 6.6300, III. 6.9270, IV. 7.0922, V. 7.4195—Bei 90%: I. 7.2263, II. 7.2922, III. 7.4478, IV. 7.2361, V. 7.0870.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampf abgabe mg.																			
	bei 30% r. F.					bei 40% r. F.					bei 60% r. F.					bei 90% r. F.				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	10.5	12.6	15.5	14.4	12.0	11.4	9.3	9.9	8.9	11.4	3.1	4.4	4.5	3.8	5.1	1.4	3.4	1.8	1.4	2.1
2	5.3	10.1	9.8	8.8	7.8	9.2	7.3	8.6	7.6	8.7	4.3	4.3	4.6	3.0	4.8	1.9	0.8	0.9	1.5	0.7
3	4.2	8.9	8.5	9.0	9.1	9.5	7.8	7.5	9.9	7.4	3.2	2.5	2.7	2.9	3.1	1.6	2.7	1.0	1.7	0.9
4	5.7	7.3	10.1	9.1	7.4	7.8	7.1	6.4	5.5	9.0	4.1	3.6	3.9	3.1	4.0	1.4	1.8	2.0	2.0	2.9
5	3.9	7.3	10.3	7.5	5.6	9.8	7.8	7.8	7.0	7.5	4.4	4.4	4.0	4.3	4.7	1.3	2.0	1.8	2.9	1.6
6	4.3	7.8	9.7	7.8	8.7	7.7	5.5	7.0	6.7	9.0	3.8	3.7	3.8	3.1	3.6	2.6	1.7	2.3	0.7	2.2
7	4.2	6.0	9.8	8.4	8.0	9.1	7.7	7.0	8.1	9.2	5.0	4.6	4.7	3.4	4.5	2.1	2.4	2.3	2.4	1.1
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.3	3.4	3.4	4.2	4.7	1.5	1.8	0.9	2.0	1.5

Bei 30% Feuchtigkeit sinkt die in der ersten Stunde lebhafteste Transpiration in der zweiten Stunde plötzlich auf ungefähr 70%, worauf sie auf diesem Niveau bis zum Versuchsende bleibt.

Bei 40% sinkt die Transpiration andauernd und linear, aber sehr langsam.

Bei 60 und 90% rel. Feuchtigkeit verläuft sie mit der Anfangsintensität bis zum Schluss des Versuches.

d. Imagines von *Gastrimargus transversus* THUNBERG  
(Orthoptera: Acrididae)

Je 3 Imagines dieser Geradflüglerart wurden zu jedem Feuchtigkeitsversuche (30, 55 und 90%) gebraucht.

Die Transpiration dieses Geradflüglers ist in ihrem Verlauf bei 30% rel. Feuchtigkeit etwas verschieden von der der *Milionia*- oder *Bombyxpuppen* und *Danais*-Imagines, wo sie von der zweiten Stunde an auf ihr niedrigstes Niveau herabsinkt, wenn die Luft so trocken ist. Hier nimmt sie von Anfang an in den ersten 3-4 Stunden sehr schnell ab, um dann stufenweise, aber sehr langsam, weiter herabzusinken. Die graphische Darstellung ist daher im ganzen durch eine Linie repräsentiert, die man als einen Teil einer hyperbelartigen Kurve charakterisieren kann, die eine — Richtungskonstante hat.

Bei 55% rel. Feuchtigkeit hatte Individuum III eine etwas ähnliche Kurvenform wie die Tiere bei 30%. Die Individuen I und II aber zeigen einen in der zweiten Stunde plötzlich abfallenden

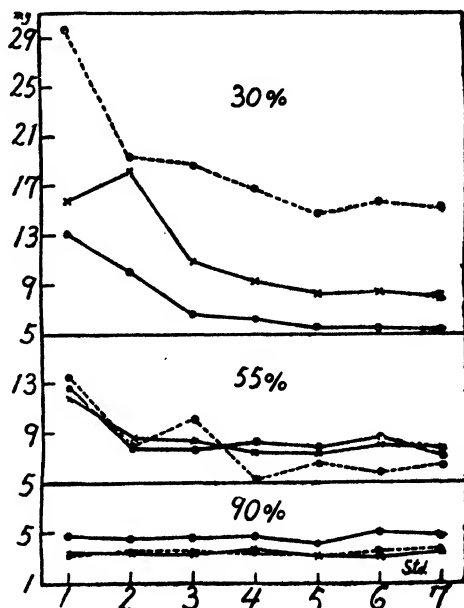


Abb. 10. Graphische Darstellung der Tabelle 10.

Tabelle 10.

Lebende Imagines von *Gastrimargus transversus* THUNB. Anfangskörpergewicht in g.: Bei 30%: I. 1.8632, II. 1.7809, III. 1.9820—Bei 55%: I. 1.5229, II. 1.6824, III. 1.5860—Bei 90%: I. 1.6238, II. 1.5461, III. 1.5084.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.								
	bei 30% r. F.			bei 55% r. F.			bei 90% r. F.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	13.2	29.7	15.8	12.7	13.5	11.9	4.8	3.2	3.4
2	10.1	19.3	18.3	8.0	7.9	8.6	4.5	3.6	3.3
3	6.7	18.7	10.9	7.7	10.1	8.4	4.6	3.6	3.4
4	6.3	16.7	9.3	8.3	5.3	7.5	4.7	3.4	3.7
5	5.6	14.7	8.3	7.8	6.6	7.4	4.1	3.2	3.2
6	5.6	15.6	8.5	8.6	5.8	8.0	5.0	3.5	3.1
7	5.3	15.1	8.0	8.2	6.4	7.7	4.7	3.6	3.4

Transpirationsverlauf, der sich aber danach bis zum Versuchsende auf konstanter Höhe hält.

Bei 90% rel. Feuchtigkeit gilt das, was wir bei allen bisher untersuchten Tierarten in feuchter Luft gefunden haben, auch für dieses Tier.

e. Larven von *Rhynchophorus longimanus* FAB.

(Coleoptera: Curculionidae)

Die Larven dieser Spezies, die eine weiche und nasse Haut besitzen, wohnen im Innern von Bambussprossen und werden daher im allgemeinen von den Veränderungen der Faktoren der freien Luft nicht unmittelbar beeinflusst. Mit einer zufällig gefundenen Larve stellte ich einen Versuch bei 30% rel. Feuchtigkeit an, nachdem ihre Haut in Zimmerluft ganz trocken geworden war. Der Wasserverlust war in den ersten 3-4 Stunden sehr stark, dann setzte er sich weiter, aber etwas langsamer fort. Daher gehört dieser Verlauf – nur noch in viel auffallenderer Weise – zu der Kategorie, die, wie oben beschrieben, *Gastrimargus* bei derselben Feuchtigkeit darstellt. Siehe Tabelle 11 und Abbildung 11.

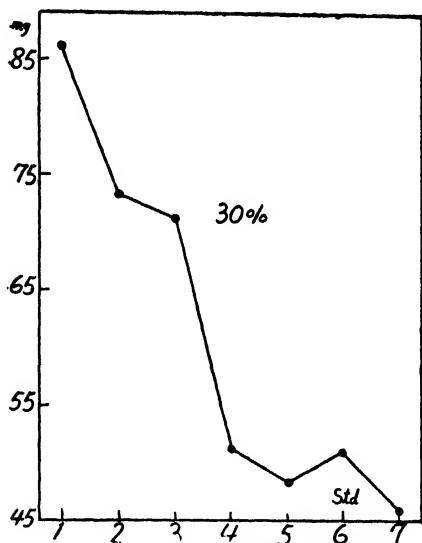


Abb. 11. Graphische Darstellung der Tabelle 11.

Tabelle 11.

Lebende Larven von *Rhynchophorus longimanus* FAB. bei 30% rel. Feucht. Anfangskörpergewicht 5.1181 g.

Zeit. n. Vers.-beginn Std.	Stündl. absolute Transp. mg.
1	86.2
2	73.3
3	71.3
4	51.3
5	48.4
6	51.0
7	45.8

### f. Larven von *Schoenobius incertellus* WALKER (Lepidoptera: Pyralidae)

Dieses Insekt ist ein gefährlicher Schädling des Reises; es lebt im Innern der Halme dieser Pflanze. Ein Versuch, der mit zwei Gruppen (je 10 Larven) nur bei der relativen Feuchtigkeit von 35% angestellt wurde, führte zu demselben Ergebnis wie die Versuche mit

Tabelle 12.

Lebende Larven von *Schoenobius incertellus* WALKER bei 35% relativer Feuchtigkeit. Anfangskörpergewicht in mg.: I. 73.51, II. 86.72.

Zeit. n. Vers.-beginn Std.	Stündliche absolute Transpiration mg.	
	I	II
1	18.5	22.1
2	11.2	11.9
3	9.3	6.3
4	5.6	7.5
5	5.2	3.6
6	4.9	4.0
7	5.7	2.5

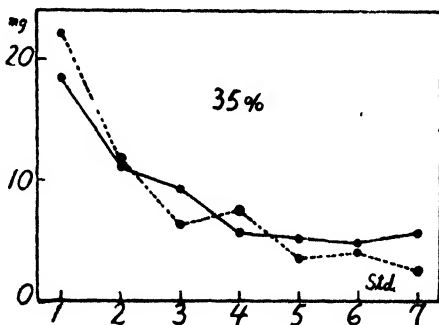


Abb. 12. Graphische Darstellung der Tabelle 12.

*Gastrimargus* und *Rhynchophorus* bei derselben Luftfeuchtigkeit (Abb. 12 und Tab. 12).

Insekten, die sich von saftigem Futter ernähren oder in feuchter Umgebung wohnen, wie das Innere von Pflanzenstengeln, Früchten, verfaulenden Blättern, Baumstämmen oder unter Steinen bzw. in der Erde, besitzen im allgemeinen eine weiche, dünne und zarte Haut. Solche Tiere stehen nur sehr selten unter dem direkten Einfluss der freien Luft. Bringen wir einmal solche Tiere in trockene freie Umgebung, so sterben sie ziemlich schnell infolge von Austrocknung, da sie gar keine oder nur geringe Schutzfähigkeit gegen zu starken Wasserverlust besitzen. Hätten die oben genannten Tiere ein Anpassungsvermögen an solche ungewöhnliche Lebensbedingungen, dann müssten sie ihre Wasserabgabe so bald als möglich vermindern. In Wirklichkeit aber verlieren sie in den ersten 3-4 Stunden eine erhebliche Menge Wasser und stellen die Transpiration erst bei einem minimalen Wasservorrat ein. So können wir mit aller Wahrscheinlichkeit sagen, dass diese Insekten nur unbedeutende Regulationseinrichtungen gegen Austrocknung besitzen.

g. Puppen von *Chaetodacus cucurbitae* Coq.

(Diptera: Trypaneidae)

Die Puppen von *Chaetodacus cucurbitae*, dessen Larven von Früchten verschiedener Cucurbitaceen leben, kommen in deren Nähe in der Erde zahlreich vor. Die Puppen findet man im Vergleich mit den bereits besprochenen Milioniapuppen bei weitem tiefer unter der Erdoberfläche; ich habe sie im Durchschnitt 10-15 cm. tief unter der Erde gesammelt, an Stellen, wo der Boden mit Wasser ganz gesättigt war. Im Zusammenhang mit diesem Habitat ist die Haut der Puppen immer nass.

Vor dem Experiment hat man die Puppen zunächst mit Löschpapier abgetrocknet, dann in einem Exsiccator bei einer annähernd konstanten relativen Feuchtigkeit von ungefähr 40% 1 Stunde lang gehalten, um die Haut noch besser zu trocknen. Der Wasserverlust wurde dann in Luftfeuchtigkeiten von 26, 35, 45, 60, 80 und 90%

bei 26°C. durch stündliche Körpergewichtsbestimmung festgestellt. Zu jedem Versuch gehörten 500 Puppen. Die Einzelheiten sind aus Tabelle 13 und Abbildung 13 zu entnehmen.

Tabelle 13.

Lebende Puppen von *Chaetodacus cucurbitae* COQ. Anfangskörpergewicht siehe Tabelle 14.

Zeit n. Vers.- beginn Std.	Stündlicher absoluter Wasserverlust g.					
	26%	35%	45%	60%	80%	90%
1	2.0448	2.2702	1.8072	1.5238	0.4623	0.3117
2	1.4143	1.0542	0.6633	0.5776	0.3704	0.2575
3	0.6859	0.5904	0.1689	0.1546	0.2752	0.2279
4	0.2544	0.0879	0.0990	0.0680	0.1728	0.2446
5	0.1365	0.0527	0.0207	0.0467	0.1644	0.2174
6	0.0633	0.0255	0.0198	0.0352	0.0790	0.1777
7	0.0330	0.0297	0.0205	0.0238	0.0802	0.1915

Der Wasserverlust dieser Puppen ist bei 26% rel. Feuchtigkeit am grössten, darauf folgen die Versuche mit 35, und 45% rel. Feucht., bei 60% ist er noch geringer. Der Verlauf ist aber bei diesen vier Feuchtigkeiten annähernd gleich; es zeigt sich nämlich überall eine schnelle Gewichtsabnahme in den ersten 3-4 Stunden, danach wird aber das niedrigste erreichte Niveau beibehalten, oder eine sehr langsame Abnahme setzt sich weiter fort bis zum Versuchsende. Ungefähr von der fünften Stunde an verlaufen alle Evaporationskurven parallel zur Abszissenachse. Die anfänglich glänzende gelbe Puppenhaut verwandelt sich in eine ganz trockene weissgelbe.

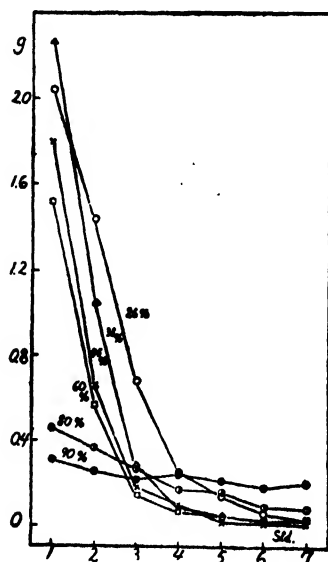


Abb. 13. Graphische Darstellung der Tabelle 13.

Die Transpirationskurven dieser *Chaetodacus*puppen bei relativen Feuchtigkeiten unterhalb 60% sehen den vorher besprochenen Kurven der Imagines von *Gastrimargus*, Larven von *Rhynchophorus* und Larven von *Schoenobius* in trockener Luft sehr ähnlich. Es besteht aber ein wesentlicher Unterschied zwischen den *Chaetodacus*kurven und denen der anderen genannten Insekten. Die Transpirationskurven dieser letzteren sind nämlich sozusagen Regulationskurven, obgleich die Regulation nicht auffallend gross ist, während wir bei dem Transpirationsverlauf von *Chaetodacus* fast kein Anzeichen von Regulierung finden können. Dies geht ohne weiteres aus der Quantität des in der Periode der schnellen Transpirationsabnahme verlorenen Wassers hervor. Diese Puppen geben während der ersten 4 Stunden eine Menge Wasser ab, die bei relativen Feuchtigkeiten von 26 und 35% etwa 50%, zwischen 45 und 65% rel. Feuchtigkeit ungefähr 30% des Körpergewichtes ausmacht. Angesichts dieser Tatsache können wir nicht annehmen, dass diese Tiere irgend eine Schutzeinrichtung gegen Wasserverlust besitzen. Der starke Wasserverlust ist in der Tat letal; in Boden von geeigneter Feuchtigkeit zurückversetzt, kommen die Tiere nicht mehr zu sich.

Da die Puppen in den ersten vier Stunden soviel Wasser abgeben, ist es ohne weiteres verständlich, dass die Wasserabgabe sich bei dem so stark heruntergesetzten Wasservorrat für die weitere Dauer des Versuches auf einem niedrigen Niveau hält. Deshalb richten sich die Kurven, die ich für diese Spezies bei trockener Luft fand, in den ersten vier Stunden sehr steil nach abwärts, um dann parallel zur Abszissenachse zu verlaufen; derartige Kurven können nicht als Regulierungskurven betrachtet werden. Eine weitere Stütze findet meine Ansicht darin, dass der Transpirationsverlauf der *Chaetodacus*puppen mit dem von PRAT und MINASSIAN (1929) bei der Wasserverdunstung von eingeweichten Löschpapierstückchen beobachteten vollkommen übereinstimmt.

Es scheint mir, dass derartige Transpirationskurven sich in der Regel bei vielen hygrophilen Tieren finden werden, wie bei Bewohnern von tiefen Bodenschichten, die mit Wasser getränkt sind, oder bei

Wassertieren, wenn sie der Wirkung der freien Luft ausgesetzt werden. Im allgemeinen dürfte eben die Wasserverdunstung solcher Tiere grundsätzlich denselben Verlauf haben wie die physikalische Austrocknung unbelebter feuchter Körper.

Bei feuchter Luft, etwa bei 80 und 90% rel. Feuchtigkeit, geht die Transpiration unter stetiger Abnahme von Anfang bis zu Ende mit einer sehr langsamen Krümmung der Kurve vor sich. Auch darin unterscheidet sie sich von der Transpiration der bisher besprochenen Luftinsekten, weil bei den letzteren die Transpirationskurve bei so grosser Feuchtigkeit immer vom Anfang des Versuches bis zum Schluss auf konstanter Höhe bleibt.

Zuletzt bringe ich die Tabelle 14, in der angegeben ist, wieviel Gramm bzw. Prozent Wasserdampf die Puppen von *Chaetodacus cucurbitae* bei verschiedener Feuchtigkeit der Luft in der Versuchszeit von 7 Stunden ausgeschieden haben.

Tabelle 14.

Gesamter Wasserverlust lebender *Chaetodacus*puppen während 7 Stunden.

Relat. Feucht. %	26%	35%	45%	60%	80%	90%
Anfangskörpergew. g.	7.0274	6.6558	6.0290	6.4390	6.8242	7.2536
Körpergew. n. 72 Std. g.	2.3952	2.8452	3.2291	4.0033	5.1699	5.6273
Gesamter H <sub>2</sub> O Verlust g.	4.6322	3.8106	2.7999	2.4357	1.6543	1.6263
Proz. d. H <sub>2</sub> O-Verlust. %	65.91	57.25	46.44	37.98	24.24	22.42

#### h. Imagines von *Anomala expansa* BATES.

(Coleoptera: Scarabaeidae)

Alle Käfer haben zwischen den harten Flügeldecken und dem von diesen bedeckten weichhäutigen Tergit einen Luftraum, nach welchem sich die Stigmen öffnen. Die Atmung findet auf diese Weise nicht in unmittelbarer Verbindung mit der Aussenluft statt, sondern durch Vermittlung der Luft des Subelytralraumes. Nach den Untersuchungen von FRANZ (1930) besitzt dieser in vielen Fällen



grössere Feuchtigkeit und niedrigere Temperatur als die Aussen-  
umgebung und trägt dadurch in erheblichem Masse zur Verhütung  
zu grosser Wasserverdunstung oder zu starker Erwärmung des  
Körpers bei. Um auch hier die Ver-  
hältnisse des Austrocknungsschutzes  
zu prüfen, beobachtete ich den Verlauf  
der Wasserdampfabgabe bei 40% rel.  
Feuchtigkeit an 5 Imagines von  
*Anomala expansa* BATES. In Tabelle  
15 sind die stündlichen Werte ver-  
zeichnet und in Abbildung 14 als  
Kurven dargestellt.

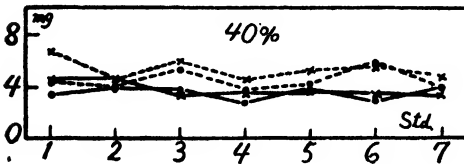


Abb. 14. Graphische Darstellung  
der Tabelle 15.

Tabelle 15.

Lebende Imagines von *Anomala  
expansa* BATES bei 40% rel.  
Feuchtigkeit. Anfangskörper-  
gewicht in g.: I. 1.0559, II. 1.3000,  
III, 1.0342, IV, 1.1242.

Zeit. n. Vers.- beginn Std.	Stündliche absolute Wasserdampfabgabe mg.			
	I	II	III	IV
1	3.4	4.4	4.5	6.0
2	4.0	4.1	4.6	4.6
3	3.8	5.3	3.5	6.0
4	2.9	3.9	3.6	4.6
5	4.3	3.9	3.8	5.3
6	3.0	5.8	3.5	5.7
7	4.0	4.0	3.5	4.9

Wir sehen, dass alle Transpirationskurven das bekannte Steigen  
und Fallen wiederholen, im ganzen genommen jedoch mit der Zeit  
parallel zur Abszissenachse laufen, trotz des Aufenthaltes in trockener  
Luft. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass die Flügeldecken und  
der subelytrale Luftraum sich, unmittelbar nachdem die Tiere in  
trockene Luft gebracht worden sind, gegen zu grossen Wasserverlust  
verteidigen.

#### i. Larven von *Dermestes* sp. (Coleoptera: Dermestidae)

Wie allgemein bekannt, leben die Dermestieslarven von sehr  
trockenem Futter und enthalten daher sehr wenig Wasser in ihrem  
Körper. Nach SHINODA (1932) beträgt der Wassergehalt dieser  
Insektenart während des ganzen Entwicklungszyklus nur 54-55%  
des Körpergewichtes. Meine eigenen Befunde (52,7% Wasser im  
Durchschnitt aus 22 Larven) stehen im Einklang mit dem von

SHINODA gewonnenen Ergebnis. Diese Werte sind sehr klein im Vergleich mit den bei vielen Insekten gefundenen, die zwischen 70 und 85% liegen. Der Gedanke lag nahe, dass diese Insekten sich ganz besonders vor Wasserverlust schützen müssen. Deshalb habe ich meine Versuche auf sie ausgedehnt. Die Versuche wurden an der gleichen *Dermestes*-Spezies angestellt, die ich schon früher zu Studien an getötetem Material benutzt habe. Der Wasserverlust bei relativen Luftfeuchtigkeiten von 30, 70 und 90% bei 26°C. wurde bei diesen Larven durch stündliche Körpergewichtsbestimmungen festgestellt. Fünf Gruppen, von denen jede zwei Tiere umfasste, sind bei jeder der genannten Luftfeuchtigkeiten untersucht worden. Die Daten sind in den Tabellen 16, 17 und 18 angegeben und in den Kurve der nebenstehenden Abbildung graphisch dargestellt.

Relative Feuchtigkeit von 30%. Bei allen Gruppen war die Wasserdampfabgabe sehr unbedeutend, insbesondere hat Gruppe IV im Verlauf von 6 Stunden kein Wasser ausgeschieden. Die Kurven sind im grossen und ganzen parallel zur Abszissenachse. Eine bemerkenswerte Tatsache darf aber bei dem Transpirationsgang der *Dermestes*larven nicht übersehen werden. Diese ist der spontane Körpergewichtszuwachs im

Laufe der Zeit, der bei keinem der bisher untersuchten Insekten beobachtet wurde. So zeigt Gruppe II in der zweiten Stunde eine

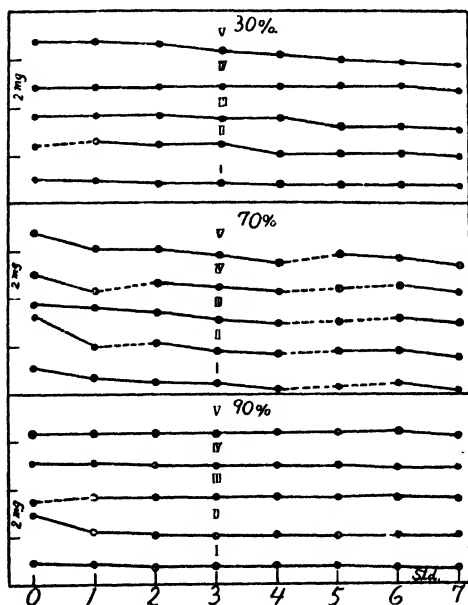


Abb. 15. Zeitlicher Verlauf der Körpergewichtsänderung der *Dermestes*larven bei 30, 70 und 90% rel. Luftfeuchtigkeit. Abszisse: Zeit in Stunden; Ordinate: Körpergewicht. Die unterbrochenen Kurventeile zeigen die unsichtbare Gewichtszunahme (vgl. Tab. 16-18).

Tabelle 16.

Zeitverlauf der stündlichen Körpergewichtsänderung der lebenden Larven von *Dermestes sp.* bei 30% rel. Feuchtigkeit. In allen Tabellen von 16 bis 18 bedeutet KG Körpergewicht, W Wasserdampfabgabe und die eingeklammerten Zahlen geben den unsichtbaren Zuwachs an Körpergewicht an.

Nr. d. Gruppe	I		II		III		IV		V	
Zeit. n. Vers.beginn Std.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.
Am Beginn	62.0		92.8		87.3		68.7		96.5	
1	61.9	0.1	93.2	(0.4)	87.3	0	68.7	0	96.5	0
2	61.7	0.2	92.9	0.3	87.3	0	68.7	0	96.3	0.2
3	61.7	0	92.9	0	87.1	0.2	68.7	0	95.7	0.6
4	61.5	0.2	92.1	0.1	87.1	0	68.7	0	95.4	0.3
5	61.5	0	92.1	0	86.3	0.8	68.7	0	94.9	0.5
6	61.5	0	92.1	0	86.3	0	68.7	0	94.7	0.2
7	61.3	0.2	91.9	0.2	86.1	0.2	68.5	0.2	94.5	0.2
Gesamt. Wasserverlust		0.7		0.2		1.2		0.2		2.0

Tabelle 17.

Zeitverlauf der stündlichen Körpergewichtsänderung der lebenden Larven von *Dermestes sp.* bei 70% rel. Feuchtigkeit.

Nr. d. Gruppe	I		II		III		IV		V	
Zeit n. Vers.beginn Std.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.
Am Beginn	105.2		84.5		66.5		86.0		78.5	
1	104.4	0.8	82.0	2.5	66.3	0.2	84.7	1.3	77.1	1.4
2	104.0	0.4	82.3	(0.3)	65.9	0.4	85.4	(0.7)	77.1	0
3	104.0	0	81.7	0.6	65.3	0.6	85.0	0.4	76.7	0.4
4	103.5	0.5	81.4	0.3	64.9	0.4	84.5	0.5	76.0	0.3
5	103.7	(0.2)	81.7	(0.3)	65.1	(0.2)	84.8	(0.3)	76.7	(0.7)
6	104.0	(0.3)	81.7	0	65.4	(0.3)	85.1	(0.3)	76.4	0.3
7	103.4	0.6	81.2	0.5	65.0	0.4	84.6	0.5	75.8	0.6
Gesamt. Wasserverlust		1.8		3.3		1.5		1.4		2.3

Tabelle 18.

Zeitverlauf der stündlichen Körpergewichtsänderung der lebenden Larven von *Dermestes sp.* bei 90% rel. Feuchtigkeit.

Nr. d. Gruppe	I		II		III		IV		V	
Zeit n. Vers.beginn Std.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.
Am Beginn	94.8		79.9		74.0		64.1		87.6	
1	94.8	0	78.4	1.5	74.3	(0.3)	64.1	0	87.6	0
2	94.5	0.3	78.2	0.2	74.3	0	64.0	0.1	87.6	0
3	94.5	0	78.1	0.1	74.3	0	63.9	0.1	87.6	0
4	94.5	0	78.1	0	74.3	0	63.9	0	87.6	0
5	94.5	0	78.0	0.1	74.2	0.1	63.9	0	87.6	0
6	94.3	0.2	78.0	0	74.2	0	63.7	0.2	87.6	0
7	94.5	0	78.0	0	74.1	0.1	63.6	0.1	87.3	0.3
Gesamt. Wasserverlust		0.5		1.9		(0.1)		0.5		0.3

Zunahme des Anfangsgewichtes von 92.8 mg. auf 95.2 mg. Dieser Befund ist sehr ungewöhnlich, denn die meisten Tiere verlieren an Gewicht, wenn sie keine Exkremente wie Kot, Harn oder Schweiß ausscheiden. Auf diese Erscheinung soll weiter unten näher eingegangen werden.

Relative Feuchtigkeit von 70%. Der stundenweise Gewichts- bzw. Wasserverlust ist bei allen Gruppen grösser als bei 30% Feuchtigkeit, andererseits tritt aber auch ein grösserer Gewichtszuwachs zutage. Besonders bemerkenswert ist, dass Gewichtszuwachs und -verlust in den meisten Fällen nacheinander auftreten, d. h. auf eine Stunde mit Gewichtszunahme folgt eine mit Gewichtsabnahme.

Relative Feuchtigkeit von 90%. Die Larven geben sehr wenig Wasser ab, und die Kurven laufen parallel zur Horizontalachse wie bei 30% Feuchtigkeit. Gewichtszuwachs fand nur bei Gruppe II statt.

Von den oben untersuchten relativen Feuchtigkeiten hat die Luft mit 70% den Larven in der gesamten Versuchsdauer von 7 Stunden das meiste Wasser entzogen, nächst dieser die mit 30%; am wenigsten Wasser verloren die Tiere bei 90% Feuchtigkeit. Aber zwischen 30 und 90% war nur ein geringer Unterschied zu verzeichnen.

Als ich zum ersten Mal bei 30% Feuchtigkeit eine unsichtbare Gewichtszunahme gefunden habe, vermutete ich, dass die Ursache dazu evt. in wasserabsorbierbarer Beschaffenheit der Dermesteshaut zu suchen sei. Diese Annahme erschien durch die Experimente bei 70% Feuchtigkeit bestätigt, da bei dieser die Gewichtszunahme grösser war als bei 30%, wie auch bei evt. hygroskopischer Beschaffenheit der Larvenhaut bzw. deren dichter Behaarung zu erwarten gewesen wäre. Aber die Experimente bei 90% Feuchtigkeit haben keine weitere Stütze für meine Annahme geliefert. Bei 90% fand Gewichtszuwachs nur bei einer Gruppe statt, und zwar ein viel geringerer als bei 70%. Somit muss meine Annahme irrig gewesen sein, da auf Grund dieser die Larven umso erheblicher ihr Gewicht hätten vergrössern müssen, je feuchter Luft sie ausgesetzt waren. Ich hatte noch einen anderen Befund, der durchaus mit dem Ergebnis bei diesen Larven übereinstimmt, bei dem Silberfisch, *Lepisma saccharina* L. Dass die Tiere umständehalber an Gewicht zunehmen, ist freilich ein seltenes Phänomen, doch kommt es im Tierreiche vor. Die Ursachen dieses Phänomens will ich später eingehend erörtern.

Ich hatte den Verdacht, dass der oben gefundene Transpirationsverlauf vielleicht nur in dem verhältnismässig kurzen Zeitintervall (Wägung je 1 Stunde während 7 Stunden) zur Geltung käme, und fragte mich, wie sich diese Dinge in einem längeren Zeitintervall verhalten würden, wie z. B. im Laufe eines Tages oder bei einer auf mehrere Tage ausgedehnten Versuchsdauer. Um diese Frage zu beantworten, führte ich einen 10tägigen Versuch aus, mit einmaliger Gewichtsbestimmung pro Tag bei 30% rel. Feuchtigkeit. Es ist sehr interessant, dass in diesem Versuch die tägliche Wasserdampfabgabe durch eine Kurve darstellbar war, die mit der bei *Bombyx* und

Milioniapuppen in trockener Luft erhaltenen im Einklang steht, wie man aus Tabelle 19 und Abb. 16 ersehen kann, d. h. die transpierte

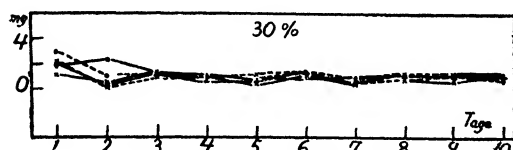


Abb 16 Graphische Darstellung der  
Tabelle 19

Wassermenge hatte einer verhältnismässig hoher Wert am ersten Tage sank aber beträchtlich im Laufe des nächsten und blieb auf der so erreichte

minimalen Höhe bis zum Schluss des Versuches.

Tabelle 19.

Zeitverlauf der einmal pro Tag gemessenen Transpiration der lebenden Larven von *Dermestes* sp. bei 30% rel Feuchtigkeit (26°C). Anfangs körporgewicht in mg. I 948, II 799, III 740, IV 611, V. 876

Zeit u Vers beginn Tag	Tägliche absolute Wasserdampf abgabe mg				
	I	II	III	IV	V
1	18	30	11	21	20
2	23	10	04	01	03
3	13	12	12	10	17
4	12	12	07	10	06
5	08	05	05	11	06
6	08	10	11	12	11
7	10	06	06	08	06
8	11	07	07	11	08
9	11	10	06	12	08
10	12	07	08	11	07

Aus Tabelle und Abbildung ist leicht ersichtlich, dass der Verlauf der unmerklichen Gewichtsänderung von *Lepisma* ganz ähnlich dem der Dermesteslarven ist. Der Gewichtszuwachs fand bei 40% und 70% rel. Feuchtigkeit statt, aber nie bei 90%. Daraus geht ohne weiteres hervor, dass dieser Gewichtszuwachs nicht auf das silberglänzende Schuppenkleid zurückzuführen ist, ferner, dass diese Gewichtszunahme eine wichtige Rolle bei der Verhütung zu grossen Wasserverlustes in trockener Luft spielen muss.

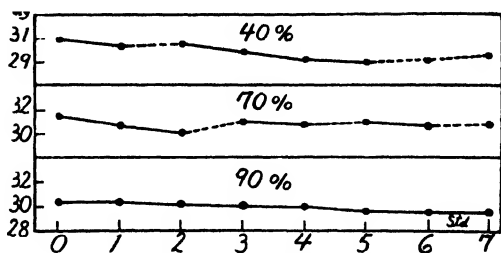


Abb. 17. Graphische Darstellung der Tabelle 20. Dbb. 18.

### Tabelle 20.

Zeitverlauf der stündlichen Körpergewichtsänderung des lebenden *Lepisma saccharina* L. KG Körpergewicht, W Wasserdampfabgabe; die eingeklammerten Zahlen geben die unsichtbare Gewichtszunahme an.

Zeit n. Vers.beginn Std.	40% r. F.		70% r. F.		90% r. F.	
	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.	KG mg.	W mg.
Am Beginn	30.9		31.5		30.3	
1	30.3	0.6	30.7	0.8	30.3	0
2	30.5	(0.2)	30.1	0.6	30.1	0.2
3	29.9	0.6	31.0	(0.9)	30.0	0.1
4	29.2	0.7	30.8	0.2	29.9	0.1
5	29.0	0.2	30.9	(0.1)	29.6	0.3
6	29.1	(0.1)	30.7	0.2	29.5	0.1
7	29.5	(0.4)	30.8	(0.1)	29.5	0
Gesamt. Wasserverlust		1.4		0.9		0.8

k. Puppen von *Saturnia pyretorum* WESTW.  
(Lepidoptera : Saturniidae)

Als ein weiteres Beispiel des unsichtbaren Gewichtszuwachses möchte ich noch die Puppen von *Saturnia pyretorum* während der Ruheperiode besprechen. In Formosa verpuppen sich die erwachsenen Larven dieser Saturniaart im Mai, und das Puppenstadium erstreckt sich auf etwa 10 Monate, so dass die Imagines im Januar und Februar des folgenden Jahres ausschlüpfen. Da die Puppen den heissen tropischen Sommer, der in Formosa etwa bis Oktober dauert, bewegungslos und ohne Nahrungsaufnahme zubringen, liegt es nahe, anzunehmen, dass sie wirksame Schutzmittel gegen Wasserverlust besitzen. Tatsächlich ist die Transpiration dieser Puppen während der Ruheperiode äusserst gering, wie wir schon bei der Untersuchung der Transpirationsgrösse verschiedener Insekten gesehen haben (s. meine III. Mitteilung). Trotzdem diese Puppen ziemlich schwer sind und etwa 2-3 g. pro Individuum wiegen, ist die Wasserdampfabgabe klein, indem sie nicht mehr als ungefähr 2-4 mg. pro 24 Stunden (bei 29°C. und 30% rel. F.) beträgt. So geringe Transpiration in 1 Tag veranlasste mich, den Verlauf je Stunde zu untersuchen. Die Versuche wurden Anfang

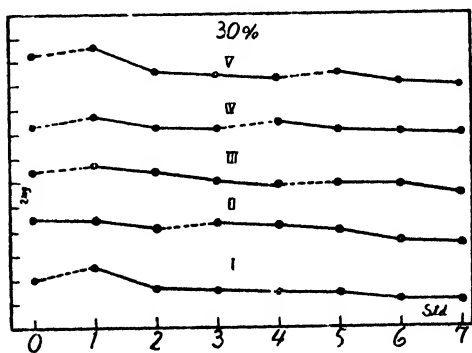


Abb. 18. Graphische Darstellung der Tabelle 21.

Oktober ausgeführt, nur bei 30% Feuchtigkeit und 26°C. Das Resultat zeigen Tabelle 21 und Abbildung 18.

Aus der Tabelle und Abbildung erkennen wir klar, dass wir hier mit einem ähnlichen Verlauf zu tun haben, wie bei *Dermestes* und *Lepisma*. Auf Gewichtszuwachs folgt nämlich Gewichtsabnahme und auf diese wieder Zuwachs, so dass die Puppen in der ganzen Zeit nur sehr wenig Wasser verlieren.



Tabelle 21.

Zeitverlauf der stündlichen Körpergewichtsänderung der lebenden Puppen von *Saturnia pyretorum* WESTW. bei 30% rel. Feuchtigkeit. KW Körpergewicht, W Wasserdampfabgabe; die eingeklammerten Zahlen geben die unsichtbare Gewichtszunahme an.

Zeit n. Vers.beginn Std.	I		II		III		IV		V	
	KG g.	W mg.	KG g.	W mg.	KG g.	W mg.	KG g.	W mg.	KG g.	W mg.
Am Beginn	2.4109		2.4690		2.3870		1.8647		2.2366	
1	2.4120	(1.1)	2.4689	0.1	2.3874	(0.4)	1.8654	(0.7)	2.2872	(0.6)
2	2.4103	1.7	2.4682	0.7	2.3869	0.5	1.8645	0.9	2.2851	2.1
3	2.4101	0.2	2.4687	(0.5)	2.3861	0.8	1.8644	0.1	2.2849	0.2
4	2.4099	0.2	2.4684	0.3	2.3858	0.3	1.8650	(0.6)	2.2845	0.4
5	2.4098	0.1	2.4680	0.4	2.3859	(0.1)	1.8643	0.7	2.2351	(0.6)
6	2.4093	0.5	2.4671	0.9	2.3858	0.1	1.8641	0.2	2.2843	0.8
7	2.4092	0.1	2.4669	0.2	2.3851	0.7	1.8640	0.1	2.2840	0.3
Gesamt. Wasserverlust		1.7		2.1		1.9		0.7		2.6

Bei einmal täglich beobachtetem Verlauf liegen die Verhältnisse aber anders als bei *Dermestes*larven. Dort ist die Gewichtszunahme nicht in Erscheinung getreten, da der Gewichtsverlust den Gesamtzuwachs während 24 Stunden übertraf. Hier fallen die zuerst hoch gelegenen Kurven ziemlich stark in den ersten 3-4 Tagen, erreichen

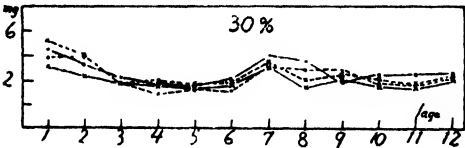


Abb. 19. Graphische Darstellung der Tabelle 22.

eine Minimumhöhe etwa am fünften Tage, heben sich aber schnell am nächsten Tag und wiederholen diesen Vorgang bis zum Schluss. Diese täglichen Schwankungen der

Transpiration sehen denen der stündlichen Gewichtsänderung in ihrem Kurvenverlauf ähnlich. Siehe Tabelle 22 und Abbildung 19.

Dass diese Insekten, die den langdauernden tropischen Sommer und Herbst als Puppen zubringen, so ökonomisch ihren Wasserbestand zu gestalten vermögen, ist eine bemerkenswerte Tatsache.

Tabelle 22.

Zeitverlauf der täglich einmal gemessenen Transpiration der lebenden Puppen von *Saturnia pyretorum* WESTW. bei 30% rel. Feuchtigkeit. Anfangskörpergewicht in g.: I. 2.4690, II. 2.3870, III. 1.8647, IV. 2.2866.

Zeit n. Vers.- beginn Std.	Tägliche absolute Wasserdampfabgabe mg.			
	I	II	III	IV
1	4.5	3.8	3.1	5.2
2	3.3	3.8	2.3	3.9
3	2.2	1.9	1.8	1.9
4	1.7	0.9	1.6	1.9
5	1.5	1.2	1.3	1.6
6	2.1	1.1	1.6	2.9
7	4.0	3.1	3.0	3.5
8	3.6	2.8	1.4	2.0
9	1.9	2.8	2.0	2.5
10	2.4	1.7	1.5	2.0
11	2.4	1.5	1.4	1.7
12	2.5	2.1	2.0	2.3

#### D. VERSCHIEDENE TYPEN DES TRANSPIRATIONS- VERLAUFES

Im vorhergehenden habe ich Versuche über den zeitlichen Gang der Transpiration von verschiedenen lebenden Insekten im einzelnen beschrieben und zu gleicher Zeit mit zahlreichen Kurven belegt. Diese Kurven weichen in den meisten Fällen in ihrer Form von denen der kutikulären Transpiration und der Wasserverdunstung aus getöteten Tieren ab. Je nach ihrer Gestalt können wir folgende fünf Grundtypen des Transpirationsverlaufes unterscheiden.

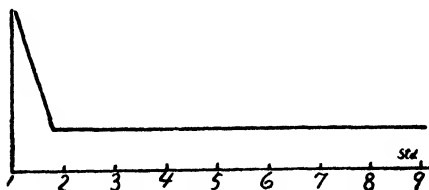


Abb. 20. Schema des Kurventypus  
A. Abszisse: Zeit, Ordinate: Transpiration.

### Typus A.

Die Transpiration geht meistens in der ersten Stunde, selten während der ersten zwei Stunden, normal vor sich, in der 2. bzw. 3. Stunde sinkt sie plötzlich und hält sich auf diesem Niveau bis zum Versuchsende. Der anfängliche Kurvengang nach abwärts ist jedoch nicht immer so auffallend. Derartige Kurven findet man im allgemeinen bei trockener Luft. Diesen Typus habe ich am deutlichsten bei Puppen von *Milionia* und *Bombyx* in Luftfeuchtigkeiten von 30–40% beobachtet.

Diese Puppen sind in ihrem normalen Leben durch Erdschichten oder Kokons geschützt und durch diese von der Aussenluft getrennt, aber von deren Einfluss nicht ganz unabhängig. Da die *Milionia*-puppen flach unter der Erdoberfläche leben, wo der Boden locker ist, müssen sie bis zu einem gewissen Grad in unmittelbarer Verbindung mit der freien Luft stehen. Aus den Untersuchungen von REGNARD (1888) und von DUBOIS und COUVREUR (1901) folgt auch, dass die *Bombyx*kokons sicher den Luftaustausch nicht wesentlich verhindern. REGNARD hat den Gasgehalt der Seidenraupenkokons untersucht und fand sowohl am Anfang wie am Ende des Puppenstadiums den gleichen Prozentgehalt von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  und  $\text{N}_2$ . Ferner ist nach DUBOIS und COUVREUR die  $\text{CO}_2$ - und die  $\text{H}_2\text{O}$ -Ausscheidung bei normalen und der Kokons beraubten *Bombyx*puppen gleich gross.

Diese Versuche erklären, warum die Puppen der betreffenden Insekten ihren Wasserverlust so stark und so bald wie möglich herabsetzen, nachdem sie, in hüllenlosem Zustand, sehr trockener freier Luft, die sie zweifellos in Austrocknungsgefahr bringt, ausgesetzt worden sind. Andererseits wird es verständlich, warum Insekten wie *Rhynchophorus*, *Schoenobius* und *Chaetodacus*, deren Habitat in keiner unmittelbaren Verbindung mit der freien Luft steht, nie diesen Kurventypus zeigen.

Der Kurventypus A tritt auch nie bei nur kutikulärer Wasserverdunstung und bei solcher aus frisch getöteten Insekten auf; in diesen Fällen ist die Verdunstung von Anfang an eine hochgradige und wird bis zum Schluss nicht kleiner, so dass die Kurven immer

parallel zur Abszissenachse verlaufen. Aus dieser Tatsache muss man schliessen, dass allen Kurven vom Typus A eine Transpirationsregulierung der lebenden Tiere zugrunde liegt, und dass es die Stigmen sind, die für diese Erscheinung verantwortlich gemacht werden müssen. Eine analoge Kurve wurde von HALL (1922) bei der Hausmaus, *Mus musculus* L., gefunden.

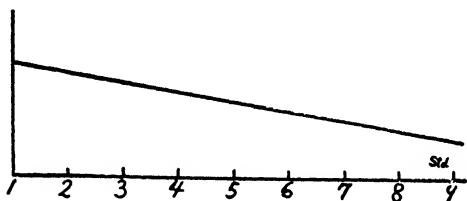


Abb. 21. Schema des Kurventypus  
B. Abszisse: Zeit, Ordinate: Transpiration.

#### Typus B.

Bei diesem Schema setzt sich die dauernde regelmässige Transpirationsabnahme mit einer konstanten Geschwindigkeit fort, es entsteht also eine mit dem Zeitablauf abfallende Gerade, wobei das sinkende Gefälle jedoch sehr klein ist. Ich fand derartige Kurven bei Puppen von *Milionia* und *Bombyx* und Schmetterlingen von *Danaïs* in feuchterer Luft als die der A-Kurven. Da derartige Kurven sich weder bei kutikulärer noch bei postletaler Transpiration bei solcher Luftfeuchtigkeit ergeben, müssen sie auch als von Lebensvorgängen charakterisierte Regulationskurven angesehen werden. Im Gegensatz zu den Kurven des ersten Typus, die gleich am Anfang schnell auf ihre Minimalhöhe sinken, gehen die B-Kurven sehr langsam herunter und repräsentieren, wie mir scheint, eine schwächere Regulierbarkeit als die ersteren. Ich vermute, dass das anfänglich plötzliche Herabsinken der Transpiration bei dem Typus A auf gleichzeitigen vollkommenen Verschluss oder Verengerung sämtlicher Stigmen zurückzuführen sei, und andererseits, dass Kurven des Typus B durch ungleichzeitige Schliessung oder unvollkommene Verengerung eines Teiles oder aller Stigmenöffnungen verursacht seien.

In Bezug auf den Regulationsgrad ist es sehr bemerkenswert, dass diese Kurvenform auch bei *Chaetodacus*puppen, die tief in der Erde in Feuchtigkeit leben, bei sehr feuchter Luft wie 80–90% rel. Feuchtigkeit zum Vorschein kommt. Diese Tatsache zeigt nur, dass das Regulierungsvermögen der genannten Puppen gegen Wasserverlust

sehr gering ist.

### Typus C.

Während der ersten 3-4 Stunden fällt die Kurve ziemlich steil ab, wonach ein langsames Herabsinken sich einstellt, das bis zum Ende

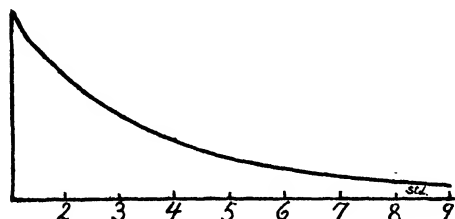


Abb. 22. Schema des Kurventypus C.  
Abszisse: Zeit, Ordinate: Transpiration.

dauert. Dieses Schema wird auch bei recht trockener Luft, wie 30% rel. Feuchtigkeit, verwirklicht, aber bei ganz anderen Tierarten. Derartige Kurven fand ich bei *Gastrimargus transversus* (Imagines), *Rhynchophorus*

*longimanus* (Larven) und *Schoenobius incertellus* (Larven). Die gesamte von diesen Insekten verlorene Wassermenge in gegebener Zeit (während etwa 10 Stunden) ist ziemlich gross, und die hier erhaltene Verdunstungskurve (Typus C) hat eine grosse Ähnlichkeit mit der Evaporationskurve aus unbelebten feuchten Körpern wie nasses Löschpapier. Wir können daher bei diesem Typus auf keine (oder fast keine) Schutzeinrichtung schliessen. Bei Puppen von *Chaetodacus cucurbitae*, Bewohnern von tiefen nassen Erdschichten, findet sich dieser Typus noch deutlicher realisiert. Ich glaube, dass er im allgemeinen für die Tiere charakteristisch ist, deren Habitat in keiner oder nur selten in unmittelbarer Verbindung mit der freien Aussenluft steht, wie tiefe nasse Erde, feuchte Baum- und Stengelhöhlen, auch frische oder faule Früchte, Humus oder Wasser.

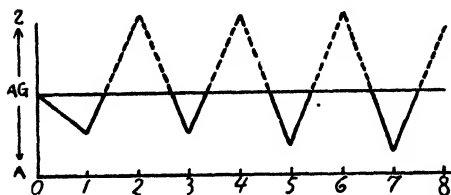


Abb. 23. Schema des Kurventypus D.  
Abszisse: Zeit, Ordinate: Körpergewicht.  
AG: Anfangskörpergewicht,  
Z: Unsichtbare Gewichtszunahme, A: Unsichtbare Gewichtsabnahme.

Auch wenn ein Tier im Freien lebt, gestaltet sich seine Transpirationskurve nach dem Schema C, wenn es eine von Wasser oder Schleim benetzte Haut besitzt, wie die Untersuchungen über Austrocknung bei Nacktschnecken von KÜNKEL (1916) deutlich zeigen.

### Typus D.

Bei diesem Typus ist der unmerkliche Gewichtsverlust nicht andauernd, sondern wird bisweilen im Laufe der Zeit von einem Gewichtszuwachs abgelöst, selbst wenn die Versuchstiere nicht nur keine Nahrung aufnehmen, sondern auch keine Exkremente ausscheiden. Dieser Typus ist wenigstens für die Xerobionten charakteristisch. Derartige Kurven habe ich bei Larven von *Dermestes* sp., bei *Lepisma saccharina* und bei ruhenden Puppen von *Saturnia pyretorum* gefunden. Einen ähnlichen Befund teilt MELLANBY (1932) bei dem hungernden Mehlwurm, *Tenebrio molitor*, mit.

Es ist sicher, dass von sehr trockenem Futter lebende Insekten in ihrem Körper sehr wenig Wasser enthalten. In den vorliegenden Fällen übertrifft aber der Wassergehalt des Körpers, z.B. 55% bei Dermestesarven, deren Futter (vertrocknete Fischkadaver) weniger als 10% Wasser enthält, den des Futters. Dieses Mehr an Wasser kommt zweifellos von dem Oxydationswasser her, das im Stoffwechsel erzeugt wird. Im Stoffwechselprozess erzeugtes Wasser ist von verhältnismässig geringer Bedeutung für Tiere, deren Körperwassergehalt seine Quelle im Fressen oder Trinken hat, so dass das Oxydationswasser nur einen kleinen Teil ihres Gesamtwassergehaltes ausmacht. Aber bei Insekten, die von trockenem Futter leben oder keine Nahrung aufnehmen, wie im Puppenstadium, ist der Stoffwechsel eine wichtige Quelle der Wasserversorgung (BERGER 1907, BABCOCK 1912, ROBINSON 1928, SCHULZ 1930). Es ist sicher, dass die von mir eben genannten Insekten auf dieses Wasser angewiesen sind; so erscheint die Annahme berechtigt, dass der zeitliche Verlauf der Gewichtsänderungen, der in Kurven vom Typus D zum Ausdruck kommt, im allgemeinen für Insekten charakteristisch ist, deren tägliches Leben hauptsächlich vom Oxydationswasser abhängt.

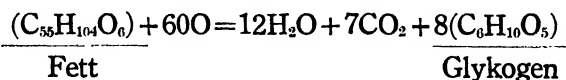
Insofern ein Tier keine sichtbare Tätigkeit ausführt, die zur Veränderung des Körpergewichts führt, wie Nahrungsaufnahme oder sensible Ausscheidung (Harn, Schweiss, Faeces), nimmt es durch die unsichtbare Wasserdampfausscheidung dauernd an Gewicht ab. Aber bei den oben genannten Tieren tritt ein Gewichtszuwachs

dann und wann ohne sichtbares Funktionieren auf. Dass dieses Phänomen nicht dadurch entstehen kann, dass der abgegebene Wasserdunst sich wieder auf der Tierhaut oder den Haaren kondensiert, geht daraus hervor, dass dieser Gewichtszuwachs bei trockener Luft deutlicher zum Vorschein kommt als bei feuchter und sogar bei feuchter Luft selten ist.

Über die unsichtbare Gewichtszunahme beim Menschen oder bei höheren Tieren unter niedrigem barometrischem Druck besitzen wir einige Beobachtungen, aber in diesen Fällen hat das Phänomen seine Ursache in der Wasserretention im Körper, die dadurch entsteht, dass die Harnabsonderung kleiner ist als die Wasseraufnahme (SMITH 1928). Diese Erklärung findet auf unseren Fall keine Anwendung, in dem weder Wasseraustritt noch -eintritt stattgefunden hat.

Wahrscheinlicher scheinen mir folgende zwei Erklärungen zu sein.

1. Vielleicht liegt der Erscheinung unvollkommene Fettverbrennung zugrunde, wie sie BOUCHARD (1898) annimmt, um periodisch auftretenden unsichtbaren Gewichtszuwachs des Menschen ohne Nahrungsaufnahme zu erklären. Nach Ausschluss sämtlicher anderen Möglichkeiten führt BOUCHARD die Gewichtszunahme auf die Aufnahme von Sauerstoff zurück, der Fett in Glykogen umwandelt nach der Formel:



860 g. Fett mit 960 g. O<sub>2</sub> geben auf diese Weise ausser H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> 1296 g. Glykogen. Experimentell suchte er diese Theorie dadurch zu begründen, dass er bei verschiedenen Tieren durch Hunger ein Bedürfnis nach Glykogen erzeugte, dann mit Fett fütterte und das Bedürfnis der Zuckerzerstörung resp. Glykogenumwandlung auf ein Minimum herabsetzte.

Diese Theorie erklärt gut die Entstehung des auf Zunahme folgenden Gewichtsverlustes dadurch, dass unmittelbar nach der Weiteroxydierung dieses Zwischenproduktes zu H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> beide Gase ausgeschieden werden.

Dass bei Tieren, die von einer extrem trockenen Nahrung leben oder keine Nahrung aufnehmen wie die Insektenpuppen, oder bei hungernden Tieren Fett die hauptsächliche Energiequelle für die Lebenshaltung ist, ist lange bekannt und wiederholt durch direkte Feststellungen bestätigt worden. Zum Beispiel beträgt nach SHINODA (1932) der Fettgehalt der Dermesteslarven 40% der gesamten Trockensubstanz. In der Puppenzeit besteht die Körpersubstanz aller Insekten tatsächlich in der Hauptsache aus Fett. Diese Tatsachen sprechen dafür, dass die Annahme von BOUCHARD für den Menschen und höhere Warmblüter wahrscheinlich auch für Insekten gilt.

Bei dieser Annahme können wir aber nicht erklären, warum die Gewichtszunahme nur selten bei feuchter Luft zustande kommt.

2. Bei vollkommener Spaltung bildet Fett Wasser von grösserem Gewicht als das Originalfett, z. B. nach MAGNUS-LEVY liefern 100 g. Fett 107.1 g. Wasser. Wie vorher erwähnt, ist dieses Oxydationswasser von besonderer Wichtigkeit für xerophile Tiere. Wenn es nicht ausgeschieden wird, sondern im Tierkörper aus irgendeinem Grunde bleibt, muss eine Gewichtszunahme erfolgen. MELLANBY (l. c.) vermutete, dass die Gewichtszunahme des hungernden Mehlwurms vielleicht auf die durch Stigmenschliessung verursachte Retention des durch Fettverbrennung entstehenden Wassers zurückzuführen sei.

Noch eine andere Weise von Wasserretention der xerophilen Insekten kommt nach den Untersuchungen von ROBINSON (1928) in Frage. Nach ihm halten diese Insekten einen grossen Teil von Körperwasser dadurch fest, dass die Protoplasmakolloide es adsorbieren, so z. B. bei *Calandra granaria*, deren Gesamtwassergehalt 46% beträgt, werden auf diese Weise 58% davon festgehalten; von 48% von *C. oryzae* 35% und von 50% von *Cyllene robiniae* nur 20%. Je höher der Wassergehalt, um so weniger davon ist in adsorbiertem Zustande. Wenn das Oxydationswasser sich auf diese Weise mit den Plasmakolloiden verbindet und nicht ausgeschieden wird, muss das Körpergewicht zunehmen.



Diese zweite Hypothese erklärt die Entstehung der Gewichtszunahme gut, aber nicht die auf sie folgende Abnahme.

Auf jeden Fall kann man wohl behaupten, dass der Fettstoffwechsel in engster Beziehung mit dem Zustandekommen der Kurven vom Typus D steht.

Die Frage, ob die Tiere nicht vielleicht Wasserdampf in der Zeit der Gewichtszunahme ausscheiden, habe ich nicht direkt geprüft, aber aus den oben angeführten verschiedenen Tatsachen ist es höchst wahrscheinlich, dass sie in dieser Zeit kein Wasser abgeben.

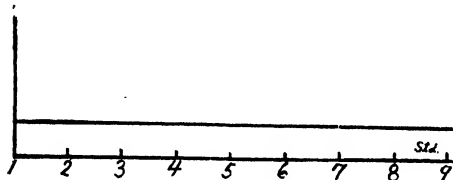


Abb. 24. Schema des Kurventypus E.  
Abszisse: Zeit, Ordinats: Transpiration.

Jedenfalls ist die Tatsache, dass die xerophilen Insekten auf diese Weise der Gefahr

eines zu starken Wasserverlustes entgehen können, sehr interessant, unabhängig davon, auf welche Ursache sie zurückgeht. ●

#### Typus E.

Bei diesem Schema ist die Transpiration in jedem Zeitpunkt der Versuchsdauer die gleiche, und die Kurve ist von Anfang bis zum Versuchsende der Abszissenachse parallel; die gesamte transpirierte Wassermenge ist sehr klein. Dieses Schema wird im allgemeinen bei feuchter Luft, wie oberhalb 85% rel. Feuchtigkeit, verwirklicht. Da dieser Kurventypus auch für die Wasserverdunstung der getöteten Tiere charakteristisch ist, ebenso wie für die kutikuläre Transpiration, kann man ihn auf keinen Fall als Regulationstypus betrachten.

Wenn wir die Transpiration vorläufig nur als einen schädlichen wasserentziehenden Vorgang betrachten, dann muss der Luftzustand, bei dem dieser letzte Kurventypus entsteht, für den Wasserhaushalt des betreffenden Tieres am geeignetsten sein, denn bei solcher Luft verläuft die Transpiration normal und Regulierungsvorrichtungen gegen Austrocknung werden nicht in Anspruch genommen. Aber vom Standpunkte der Wärmeregulation aus ist ein solcher Zustand

der Luft sehr ungünstig für die Wärmeabgabe der Tiere, weil er von Anfang an nur eine geringe Wasserdampfabgabe zulässt.

Besonders zu beachten ist aber, dass dieses Kurvenschema sich nicht auf feuchte Luft beschränkt, sondern je nach der Tierart auch bei trockener Luft gefunden werden kann. Das konnte ich an einer Käferspezies, *Anomala expansa* BATES, feststellen. Die Ursache hierzu ist vielleicht, wie schon erwähnt, in der Regulierung des Wasserverlustes mittels des Subelytralraumes dieses Käfers zu suchen, der feuchter ist als die Aussenluft.

### E. ZUSAMMENFASSUNG

Der zeitliche Verlauf der gesamten Transpiration (kutikuläre und spirakuläre zusammen), der kutikulären und der postletalen wurde bei 11 Insektenspezies unter verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten bei derselben Temperatur (26°C.) verfolgt.

Kutikuläre Transpiration und Wasserevaporation aus frisch getöteten Tieren verlaufen mit konstanter Geschwindigkeit von Anfang bis zum Versuchsende, d. h. innerhalb 10 Stunden, sei es bei feuchter oder trockener Luft. Die die stündlichen Werte wiedergebenden Kurven laufen immer parallel zur Abszissenachse, auf der die Zeit abgetragen ist.

Im Gegensatz dazu ist der Zeitgang der gesamten Transpiration aus lebenden Körpern je nach der Tierart und dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft verschieden. Es lassen sich fünf Transpirationstypen, A, B, C, D und E, aufstellen, deren stündlicher Verlauf in den Kurvenschemata der Abbildungen 20-24 dargestellt ist.

a. Kurvenschema des Typus A (Textabb. 20) findet man realisiert bei der Transpiration der ihrer Hüllen beraubten Insekten in trockener Luft, so bei Puppen von *Bombyx* oder *Milionia*, die in normalem Leben durch Kokons oder verhältnismässig trockene Erde geschützt sind. In diesem Kurventypus kommt ein ausgeprägtes Regulierungsvermögen zum Ausdruck.

b. Kurvenschema des Typus B (Textabb. 21) entsteht bei den

eben genannten Insekten oder bei frei herumfliegenden Schmetterlingen bei weniger trockener Luft als die, die den Typus A bedingt. Er scheint mir ein etwas schwächeres Regulierungsvermögen als Typus A darzustellen.

c. Kurvenschema des Typus C (Textabb. 22) hat eine grosse Ähnlichkeit mit der Evaporationskurve unbelebter feuchter Körper und ist bei trockener und gewöhnlicher Luft bei solchen Insekten wie *Gastrimargus transversus* (Imagines), *Chaetodacus cucurbitae* (Puppen), *Rhynchophorus longimanus* (Larven) oder *Schoenobius incertellus* (Larven) gefunden worden, die in äusserst feuchtem Habitat oder von saftigem Futter leben. Hier haben wir es keineswegs mit einem ausgesprochenen Regulationstypus zu tun.

d. Kurvenschema des Typus D (Textabb. 23), bei dem der unsichtbare Gewichtsverlust resp. Wasserdampfabgabe im Laufe der Zeit mit unmerklicher Gewichtszunahme abwechselt, ist charakteristisch für solche Insekten wie *Dermestes Lepisma*, Saturniapuppen und Mehlwürmer, die sich immer von sehr trockenem Futter ernähren oder die heisse Jahreszeit ohne Nahrungsaufnahme zubringen. Dies ist ein höchst interessanter und bemerkenswerter Typus, in dem das Anpassungsvermögen der xerophilen Insekten zum Ausdruck kommt.

e. Kurvenschema des Typus E (Textabb. 24) kommt im allgemeinen bei feuchter Luft, wie oberhalb 85% rel. Feuchtigkeit, zustande und bietet keine Anzeichen von Regulationstätigkeit, den Fall der Käfer ausgenommen.

Die Ergebnisse dieser Versuche über den zeitlichen Verlauf der Wasserdampfabgabe der Insekten bestätigen also meine wiederholt vorgebrachte Ansicht, dass die Transpiration im wesentlichen ein komplexer Lebensvorgang ist.

## F. LITERATUR

- BABCOCK, S. M.: Metabolic Water: Its production and role in vital phenomena. Univ. Wisconsin Agri. Exp. Stat. Res. Bull. XXII, 87-181 (1912).
- BERGER, B.: Ueber die Widerstandfähigkeit der Tenebriolarven gegen Austrocknung. Pflügers Arch. CXVIII, 607-612 (1907).
- BLACKMAN, F. F.: Optima and limiting factors. Ann. Bot. XIX, 281-295 (1905).
- BOUCHARD, Ch.: Augmentation du poids du corps et en glycogène. Compt. rend. Acad. Sci. CXXVII, 464-469 (1898).
- DUBOIS, R. u. COUVREUR, E.: Etudes sur le ver a soie pendant la période nymphale. Ann. Soc. Linnéenne de Lyon. XLVIII, (1901) zit. n. Winterstein's Handb. vergl. Physiol. I (2).
- FRANZ, H.: Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Poikilothermen. Biol. Ztbl. L, 158-182 (1930).
- HALL, F. G.: The vital limit of exsiccation of certain animals. Biol. Bull. XLII, 31-51 (1922).
- KÜNKEL, K.: Zur Biologie der Lungenschnecken. Heidelberg (1916).
- MAXIMOV, N. A.: The plant in relation to water. London (1929).
- MELLANBY, K.: The effect of atmospheric humidity on the metabolism of fasting meal-worm (*Tenebrio molitor* L.). Proc. roy. Soc. Lond. B. CXI, 376-390 (1932).
- PRAT, S. u. MINASSIAN: Ueber die Stoffaufnahme und Wasserabgabe bei Moosen. Protoplasma V, 161-167 (1929).
- REGNARD, P.: Sur la qualité de l'air contenu dans les cocons de vers a soie. Compt. rend. Soc. Biol. V, 787 (1888).
- ROBINSON, W.: Response and adaptation of insects to external stimuli. Ann. ent. Soc. Amer. XXI, 407-417 (1928).
- SCHULZ, Fr. N.: Zur Biologie des Mehlwurms (*Tenebrio molitor*). I. Der Wasserhaushalt. Biochem. Z. CCXXVII, 340-353 (1930).
- SHINODA, O.: Ueber die Ernährung von *Dermestes*. Dobutsugaku-Zasshi (Zool. Mag. Japan) XLIV, 53 (1932, in Japanisch).
- : Ueber den Körperwassergehalt von Insekten. Ebenda, XLIV, 53 (1932 in Japanisch).
- SMITH, C. S.: Water retention under low barometric pressure. Amer. Jour. Physiol. LXXXVII, 203-207 (1928).

(Fortsetzung folgt)



# A STUDY OF THE MUSCULATURE OF THE PHASMID MEGACRANIA TSUDAI SHIRAKI

With Plates I - V.

Takadi MAKI

(Accepted for publication, June 21, 1934)

## CONTENTS

	Page
I Introduction. ... ..	184
II Material and technical method. ... ..	185
III Musculature of the head. ... ..	185
A. Muscles of the labrum. ... ..	185
B. Muscles of the antenna. ... ..	186
C. Muscles of the mandible. ... ..	188
D. Muscles of the maxilla. ... ..	190
E. Muscles of the labium and the hypopharynx. ...	194
IV Comparison with the head musculature of the other insects. ... ..	197
V Dilator muscles arising on the head and circular muscles in the stomodeum. ... ..	202
VI Comparison with the muscles of the stomodeum arising on the head in some other insects. ... ..	205
VII Summary of the head musculature. ... ..	206
VIII Musculature of the thorax. ... ..	207
A. Muscles of the prothorax. ... ..	207
a. Protractor of the crop and gastric caecum. ...	207
b. Anterior muscles of the ovary. ... ..	207
c. Muscles of the thoracic gland. ... ..	207
d. Dorsal muscles. ... ..	208
e. Ventral muscles. ... ..	210
f. Tergo-pleural muscles. ... ..	211
g. Sterno-pleural muscles. ... ..	212

	h. Muscles of the first thoracic spiracle. ... ..	212
	i. Coxal muscles... ..	213
	j. Body trochanteric muscle. ....	216
B.	Muscles of the mesothorax. ....	217
	a. Dorsal muscles. ....	217
	b. Dorsal transverse muscle. ....	218
	c. Ventral muscles. ....	218
	d. Ventral transverse muscle... ..	218
	e. Tergo-sternal muscles. ....	219
	f. Tergo-pleural muscles. ....	219
	g. Pleural muscle... ..	220
	h. Sterno-pleural muscles... ..	220
	i. Muscles of the second thoracic spiracle. ....	221
	j. Special wing muscles. ....	222
	k. Coxal muscles and wing muscles derived from the coxal muscles... ..	222
	l. Body trochanteric muscles. ....	225
C.	Muscles of the metathorax. ....	227
	a. Posterior muscle of the ovary... ..	227
	b. Dorsal muscles. ....	227
	c. Dorsal transverse muscle. ....	228
	d. Ventral muscles. ....	228
	e. Ventral transverse muscle... ..	228
	f. Tergo-sternal muscles. ....	229
	g. Tergo-pleural muscles... ..	229
	h. Pleural muscle. ....	203
	i. Sterno-pleural muscles... ..	230
	j. Special wing muscles. ....	231
	k. Coxal muscles and wing muscles derived from the coxal muscles ... ..	231
	l. Body trochanteric muscles. ....	234
IX	Comparison with the muscles of each segment of the thorax. ....	235
X	Summary of the thoracic musculature. ....	237
XI	Leg muscles arising on the leg segments. ....	238
	A. Leg muscles arising on the leg segments in the prothorax. ....	238
	B. Leg muscles arising on the leg segments in the mesothorax. ....	244
	C. Leg muscles arising on the leg segments in the metathorax. ....	245
XII	Comparison with the leg muscles arising on the leg segments of the other insects... ..	246
XIII	Summary of the leg muscles arising on the leg segments. ....	247

XIV	Musculature of the abdomen. ... ..	247
A.	Muscles of the first segment. ... ..	247
a.	Dorsal muscles. ... ..	247
b.	Ventral muscles. ... ..	249
c.	Ventral transverse muscle. ... ..	250
d.	Tergo-sternal muscles. ... ..	251
e.	Tergo-pleural muscle. ... ..	251
f.	Muscles of the spiracle. ... ..	251
B.	Muscles of the second abdominal segment. ... ..	252
a.	Dorsal muscles. ... ..	252
b.	Dorsal transverse muscle. ... ..	252
c.	Ventral muscles. ... ..	252
d.	Tergo-sternal muscles. ... ..	253
e.	Tergo-pleural muscle. ... ..	254
f.	Muscles of the spiracle. ... ..	254
C.	Muscles of the third abdominal segment. ... ..	254
a.	Dorsal muscles. ... ..	254
b.	Dorsal transverse muscle. ... ..	254
c.	Ventral muscles. ... ..	254
d.	Tergo-sternal and tergo-pleural muscles. ... ..	255
e.	Muscles of the spiracle. ... ..	255
D.	Muscles of the fourth abdominal segment. ... ..	255
a.	Dorsal muscles and dorsal transverse muscle. ... ..	255
b.	Ventral muscles. ... ..	255
c.	Tergo-sternal and tergo-pleural muscles. ... ..	255
d.	Muscle of the spiracle. ... ..	255
E.	Muscles of the fifth abdominal segment. ... ..	255
F.	Muscles of the sixth abdominal segment. ... ..	256
G.	Muscles of the seventh abdominal segment. ... ..	256
a.	Dorsal muscles and dorsal transverse muscle. ... ..	256
b.	Dilator of the anterior hind intestine. ... ..	256
c.	Ventral muscles. ... ..	256
d.	Tergo-sternal and tergo-pleural muscles. ... ..	257
e.	Muscle of the spiracle. ... ..	257
H.	Muscles of the eighth abdominal segment. ... ..	257
a.	Dorsal muscles. ... ..	257
b.	Dorsal transverse muscle. ... ..	258
c.	Ventral muscles. ... ..	258
d.	Dilator of the spermatheca. ... ..	258
e.	Tergo-sternal muscles. ... ..	258
f.	Tergo-pleural muscle. ... ..	259
g.	Muscle of the spiracle. ... ..	259
I.	Muscles of the ninth abdominal segment. ... ..	259
a.	Dorsal muscles and dorsal transverse muscle. ... ..	259
b.	Retractor of the dorsal and inner valvulae. ... ..	259



	c. Ventral dilator of the intervalvular pouch. ...	260
	d. Tergo-sternal muscles. ...	260
J.	Muscles of the terminal abdominal segments. ...	260
	a. Dorsal muscles. ...	260
	b. Dorsal transverse muscle. ...	261
	c. Tergo-sternal muscles. ...	261
	d. Cercal muscles. ...	261
	e. Dilators of the rectum and the anus. ...	261
K.	Independent muscles from the body wall on the middle and hind intestines. ...	263
	a. Muscles of the middle intestine. ...	263
	b. Muscles of the hind intestine. ...	263
XV	Comparison with the muscles of each segment of the abdomen. ...	265
XVI	Comparison with the abdominal musculature of some other insects. ...	266
XVII	Summary of the abdominal musculature. ...	270
XVIII	General summary. ...	271
XIX	Bibliography. ...	273
XX	Abbreviations. ...	277

---

## I. INTRODUCTION

This paper gives an account of the musculature of the phasmid, *Megacrania tsudai* SHIRAKI.

The musculature in orthopteroid insects has been investigated by several students, as follows: on the terminal abdominal part of *Decticus* by BERLESE (1909), on the coxal and body trochanteric muscles of *Tachycines* by CARPENTIER (1923), on the abdomen of some species by FORD (1923), and on the metathorax of *Decticus* by SOLF (1931), in *Tettigonidae*; on *Acridium* by GRABER (1877) and BERLESE (1909), also on the thorax of the same by CHABRIER (1822), on the thorax of *Locusta* by LUKS (1883), on the mouth parts of the same by BÖRNER (1909), on the abdomen of some species by FORD (1923), and on *Dissosteira* by SNODGRASS (1928-31), in *Acridiidae*; on *Gryllus* by DU PORTE (1920), and on the thorax and abdomen of the same by VOSS (1905), on the coxal and body trochanteric muscles of *Acheta* and *Curtilla* by CARPENTIER (1923), and on some species by FORD (1923), in *Gryllidae*; on *Periplaneta* by MIALl and DENNY (1886), on the mouth parts of some species by MANGAN (1908), on the legs of

*Blatta* by FONTES and VELOSC (1923), and on the abdomen of some species by FORD (1923), in Blattidae; on the head of *Grylloblatta* by WALKER (1931), and on the abdomen of the same by FORD (1923); in *Grylloblatidae*; and on the abdomen of some other species by FORD (1923).

The study of the musculature of *Phasmidae* has been neglected by many authors except FORD (1923) who has described the abdominal musculature of the typical abdominal segments of *Diapheromera femorata* in her comparative study of the abdominal musculature of orthopteroid insects. Therefore it is undoubted that the present paper will not only contribute to open many unknown fields of the myology of this family, but also to advance the comparative morphology of insects.

This study was carried on under the direction of Prof. T. SHIRAKI, to whom I express my hearty thanks for all the help which made this study possible. I am also indebted to Assist. Prof. S. ISSIKI for his valuable advice.

## II. MATERIAL AND TECHNICAL METHOD

*Megacrania tsudai* SHIRAKI used in the study is a large insect and most suitable for anatomical study. It is found only in the extreme southern part of Formosa, but the male insect never being found. The material was preserved by hardening with a solution of 70% alcohol and 4% formaldehyde.

The observations recorded were made from dissections of the material with a small scissor, a knife, and fine pins, and also by the aid of a binocular microscope and a focused lamp.

## III. MUSCULATURE OF THE HEAD

### A. MUSCLES OF THE LABRUM

(Figs. 2 and 7)

#### 1) Compressors of the labrum (1).

The compressors of the labrum are one-paired, short and very slender. According to SNODGRASS (1928) these arise on the

central portion of the anterior labral wall and inserted into the posterior wall in *Dissosteira*, but in the present species the origin of each muscle is on the proximal end of the anterior labral wall immediately laterad of the distal attachment of the anterior retractors of the labrum. The muscle corresponds to the muscolo faringei by BERLESE (1909), and the epipharyngeal muscle in *Gryllus* by DU PORTE (1920), the compressor of the labrum in *Dissosteira* by SNODGRASS (1928).

2) Anterior retractors of the labrum (2).

The retractors are composed of a pair of long muscles arising on the median portion of the frons between compound eyes, and inserted into the median region of the proximal end of the anterior labral wall. The muscle corresponds to the musculus depressor lobii by BASCH (1865), the muscolo adduttore secondo del labro superiore by BERLESE (1909), the abductor of the labrum by DU PORTE (1920), the anterior retractor of the labrum by SNODGRASS (1928), and the levator of the labrum by WALKER (1931).

3). Posterior retractors of the labrum (3).

The posterior retractors are composed of a pair of long muscles arising on the median region of the frons between compound eyes immediately laterad of the origin of the preceding, and inserted into the small apodemes on the dorsal ends of the tormae at the bases of the latero-posterior walls of the labrum. The retractor corresponds to the musculus levator lobii by BASCH (1865), the muscolo adduttore primo del labro superiore by BERLESE (1909), the abductor of the labrum by DU PORTE (1920), the posterior retractor of the labrum by SNODGRASS (1928), and the depressor of the labrum by WALKER (1931).

## B. MUSCLES OF THE ANTENNA

(Figs. 2, 7 and 8)

1) First levator of the antenna (4a).

The first levator is an exceedingly fan-shaped muscle originated on the dorsal arm of the tentorium, and inserted into apodeme formed

on the median portion of the dorsal base of the scape by the invagination. It corresponds to the muscolo abduttore primo delle antenne by BERLESE (1909), the flexor of the antenna by DU PORTE (1920), and the levator of the antenna by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

2) Second levator of the antenna (4b).

This muscle is also fan-shaped and strong. It is originated on the caudo-dorsal portion of the anterior tentorial arm, and inserted into the apodeme formed on the latero-dorsal portion of the base of the scape. It corresponds to the muscolo abduttore secondo delle antenne by BERLESE (1909), the extensor of the antenna by DU PORTE (1920), the levator of the antenna by SNODGRASS (1928), and the outer depressor of the antenna by WALKER (1931).

3) Depressor of the antenna (5).

This muscle consists of two bundles of fibers, one (5a) arising on the proximal portion of the dorsal tentorial arm, being slender and somewhat fan-shaped, and the other (5b) on the dorsal portion of the anterior tentorial arm, strong and fan-shaped, and both being inserted into the apodeme formed on the latero-ventral portion of the base of the scape. It corresponds to the adduttore delle antenne by BERLESE (1909), the depressor of the antenna by DU PORTE (1920), SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

4) Flexors of the flagellum (6).

The flexor muscles are composed of two bundles, one (6a) being flattened and originated dorsally on the base of the scape, the other (6b) being also flattened and originated ventrally on the same, and both being inserted into the apodeme formed on the median portion of the base of the pedicel. The muscle may correspond to the extensor of the flagellum as described by SNODGRASS (1928), and the flexor by WALKER (1931).

5) Extensors of the flagellum (7).

These muscles consist of two bundles as the preceding, one (7a) being flattened and originated on the base of the scape immediately

laterad of the origin of the dorsal bundle of the flexor muscles, and the other bundle (7b) being similar to the former, but originated on the scape immediately laterated of the origin of the ventral bundle of the extensor muscles, and both being inserted into the apodeme formed on the lateral portion of the base of the pedicel. These may correspond to the flexors of the flagellum by SNODGRASS (1928) and the extensors by WALKER (1931).

### C. MUSCLES OF THE MANDIBLE

(Figs. 2, 3 and 6)

On the mandible of the present species five muscles are attached as follows :

#### 1) Tergal abductor of the mandible (8).

This muscle is composed of three bundles of fibers, the first bundle (8a) is the largest of all, fan-shaped, originated on the vertical region of the head and inserted into the large apodeme formed on the lateral base of the mandible, the second bundle (8b) is smaller than the former, fan-shaped, originated on the postgenal region and inserted externally into the common large apodeme of the abductor bundles, and the third bundle (8c) is the smallest of all, somewhat fan-shaped, originated more posteriorly than the last bundle on the postgenal region and inserted most externally into the common abductor apodeme. It corresponds to the muscolo abduttore delle mandibole by BERLESE (1909), and the abductor of the mandible by DU PORTE (1920), SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

#### 2) Tergal adductor of the mandible (9).

The tergal or dorsal adductor is a huge muscle which occupies a great part of each half of the head cavity. It is composed of five bundles of fibers. The first (9a) is a median bundle, laterally flattened, extremely fan-shaped, originated on the vertical, occipital and postoccipital regions along the median line, and inserted into

the median lobe of the common adductor apodeme. The second and third (9b and 9c) somewhat resemble the first bundle, are originated on the vertical and occipital regions parallel to the first bundle, and inserted into the lobes of the common adductor apodeme. The fourth bundle (9d) is similar to the above bundles but larger than the third one and originated on the postgenal region. The fifth bundle (9e) is resemblant to the fourth but originated on the postgenal region and the lateral portion of the postoccipital ridge and occupying the ventro-lateral portion of the head cavity. It corresponds to the *musculus flexor magnus mandibulae* by BASCH (1865), the *muscolo adduttore delle mandibole* and *muscolo adduttore intersegmentale della mandibola* by BERLESE (1909), and the tergal adductor of the mandible by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

3) First ventral or tentorial adductor of the mandible (10).

The adductor is a slender muscle arising on the latero-ventral portion of the tentorial body, and inserted into the median base of the mandible cephalad of the dorsal or tergal adductor. It corresponds to the *musculus flexor brevis mandibulae* by BASCH (1865), the ventral or tentorial adductor of the mandible by SNODGRASS (1928), and the tentorial adductor of the mandible by WALKER (1931).

4) Second ventral or tentorial adductor of the mandible (11).

This is a slender muscle arising on the same portion of the origin of the preceding one at the ventral portion of the anterior tentorial arm, and inserted into the median base of the mandible immediately caudad of the dorsal or tergal adductor apodeme. It corresponds to the ventral or tentorial adductor of the mandible by SNODGRASS (1928).

5) Hypopharyngeal adductor (12).

This muscle is slender but much stouter than the preceding mentioned one. It is originated on the apodeme at the lateral extremity of the hypopharynx, inserted into the central portion of the lateral wall of the mandible, and corresponding to the *musculus*

levator linguae by BASCH (1865), the hypopharyngeal adductor by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

#### D. MUSCLES OF THE MAXILLA

(Figs. 1, 2, 3 and 5)

##### 1) Promotor of the cardo (13).

The promotor muscle of the cardo is somewhat fan-shaped, originated on the postgenal portion of the head capsule immediately caudad of the second bundle of the mandibular abductor, and inserted into the apodeme formed on the lateral base of the cardo. It corresponds to the musculus abductor cardinis BASCH (1865), the muscolo intersegmentale mascellare primo by BERLESE (1909), the abductor of the maxilla by DU PORTE (1920), the promotor of the cardo by SNODGRASS (1928), and the abductor of the maxilla by WALKER (1931).

##### 2) Adductor of the cardo (14).

The adductor of the cardo is composed of two strong bundles arising on the ventral side of the process which is prolonged cephalo-ventrad on the posterior end of the anterior arm of the tentorium, one (14a) being inserted into the process projected on the lateral side of the ridge of the cardo, and the other (14b) into the median side of the same ridge. The muscle corresponds to the adducteur de la mâchoire by STRAUS-DÜRKHEIM (1828), the flexore maxillae by BURMEISTER (1832), the musculus adductor cardinis internus and externus by BASCH (1865), the muscolo tentorimascellare primo by BERLESE (1909), the musculus flexor maxillae posterior by BAUER (1910), the adductor of the maxilla by DU PORTE (1920) and WALKER (1931), and the adductor of the cardo by SNODGRASS (1928).

##### 3) Proximal adductor of the stipes (15).

This is a strong muscle arising on the long process which is prolonged cephalo-ventrad on the posterior end of the anterior arm of the tentorium, and inserted into the median side of the ridge of the

**stipes.** It is similar to the *musculus adductor stipitis obliquus* by BASCH (1865), the *muscolo tentorionascellare secondo* by BERLESE (1909), the *musculus flexor maxillae anterior* by BAUER (1910), the proximal adductor of the stipes by SNODGRASS (1928), and the flexor of the stipes by WALKER (1931).

4) Distal adductor of the stipes (16).

This is also a strong muscle arising on the dorsal portion of a long process on which the preceding originates, and inserted into the median angle of the distal portion of the stipes. It corresponds to the *musculus adductor stipitis rectus* by BASCH (1865), the *laciniotensoriale* by BERLESE (1909), the flexor of the maxilla by DU PORTE (1920), the distal adductor of the stipes by SNODGRASS (1928), and the flexor of the stipes by WALKER (1931).

5) Cranial flexor of the lacinia (17).

The cranial flexor of the lacinia is a long muscle arising on the postgenal region immediately caudad of the origin of the promotor of the cardo and inserted into the apodeme formed on the median angle of the base of the lacinia. It corresponds to the *musculus flexor stipitis* by BASCH (1865), the *muscolo intersegmentale mascellare secondo* by BERLESE (1909), the *musculus flexor maxillae superior* by BAUER (1910), and the cranial flexor of the lacinia by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

6) First stipital flexor of the lacinia (18a).

The muscle is a strong bundle of fibers arising on the ridge of the proximal portion of the stipes and inserted into the apodeme formed on the cephalic base of the lacinia immediately laterad of the insertion of the cranial flexor of the lacinia.

7) Second stipital flexor of the lacinia (18b).

The second stipital flexor of the lacinia is a strong bundle of fibers arising on the lateral portion of the posterior wall of the stipes and inserted into the apodeme on which the preceding attaches. The above



two stipital flexors correspond to the musculus flexor maxilla by BASCH (1865), the muscolo abduttore della lacinia by BERLESE (1909), the flexor of the lacinia by DU PORTE (1920), the stipital flexor of the lacinia by SNODGRASS (1928) and also by WALKER (1931).

8) Flexor of the galea (19).

The flexor is a muscle arising on the ridge which is extended from the lateral base of the stipes towards the separating point between the galea and lacinia, and inserted into the medio-posterior base of the galea. It is corresponding to the musculus extensor maxillae by BASCH (1865), the muscolo adduttore della galea by BERLESE (1909), and also the flexor of the galea by DU PORTE (1920), SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

9) Flexor of the maxillary palpus (20).

This is a slender muscle arising on the ridge of the stipes on which the preceding muscle originates, and inserted into the small apodeme formed on the median corner of the proximal segment of the maxillary palpus. It is corresponding to the musculus adductor palpi maxillaris by BASCH (1865), the muscolo adduttore del palpo by BERLESE (1909), the flexor of the palpus by DU PORTE (1920), the depressor of the maxillary palpus by SNODGRASS (1928), and the flexor of the maxillary palpus by WALKER (1931).

10). Levator of the maxillary palpus (21).

This muscle arises on the stipital ridge at the proximal side of the origin of the preceding and is inserted into the small apodeme which stands on the median base of the first segment of the palpus. It is similar to the levator muscle in *Dissosteira* by SNODGRASS (1928).

11) Extensor of the maxillary palpus (22).

The extensor is a small muscle originated on the proximal side of the origin of the levator on the same ridge of the stipes, and inserted into the small apodeme formed on the lateral base of the first segment of the palpus. It is corresponding to the musculus ab-

**ductor palpi maxillaris** by BASCH (1865), the muscolo abduttore del palpo by BERLESE (1909), the musculus extensor palpi maxillaris by BAUER (1910), the extensor of the palpus by DU PORTE (1920) and WALKER (1931).

12) Extensor of the second segment of the maxillary palpus (23).

This is a strong muscle arising on the cephalo-lateral base of the first segment of the palpus, and inserted into the lateral base of the second segment of the palpus. It may correspond to the extensor of the second segment by DU PORTE (1920), and to the depressor of the same segment by SNODGRASS (1928).

13). Extensor of the third segment of the maxillary palpus (24).

The extensor arises on the cephalic base of the first segment, and is attached to the lateral base of the third segment. It may correspond to the extensor of the third segment in *Gryllus* by DU PORTE (1920), and to the productor of the third segment in *Dissosteira* by SNODGRASS (1928).

14) Levator of the fourth segment of the maxillary palpus (25).

The levator is a muscle arising on the cephalic wall of the third segment and inserted into the cephalic base of the fourth segment.

15) Depressor of the fourth segment of the maxillary palpus (26).

The depressor arises on the cephalic wall of the third segment immediately proximad of the origin of the preceding, and is inserted into the posterior base of the fourth segment.

16) Levator of the fifth segment of the maxillary palpus (27).

The origin of the levator occurs on the cephalic wall of the fourth segment, and the insertion on the cephalic base of the fifth segment.

17) Depressor of the fifth segment of the maxillary palpus (28).

The depressor is a muscle arising on the cephalic wall of the fourth segment immediately proximad of the origin of the levator muscle, and inserted into the posterior base of the terminal segment.

## E. MUSCLES OF THE LABIUM AND THE HYPOPHARYNX

(Figs. 2 and 4)

## 1) Lateral retractor of the mentum (29).

The retractor is a longitudinal muscle arising on each ventral portion of paired processes of the posterior tentorial arms, and inserted into the cephalic base of the mentum. It is corresponding to the musculus abductor menti s. partis basilaris by BASCH (1865), the abductor of the labium in *Gryllus* by DU PORTE (1920), the proximal retractor of the mentum in *Dissosteira* by SNODGRASS (1928), the lateral retractor of the labium in *Grylloblatta* by WALKER (1931).

## 2) Median retractor of the mentum (30).

The median retractor is a strong longitudinal muscle originated on the median region of the middle division of the submentum, and inserted into the median portion of the posterior basal wall of the mentum between the bases of the palpi. The muscle corresponds to the musculus levator menti s. partis basilaris by BASCH (1865), the adductor of the labium in *Gryllus* by DU PORTE (1920), and the median retractor of the labium in *Grylloblatta* by WALKER (1931).

## 3) Flexor of the glossa (31).

The flexor is a strong muscle originated on the ridge of the posterior wall of the mentum at the distal side of the distal attachment of the median retractor of the mentum, and inserted into the posterior base of the glossa. It is corresponding to the musculus abductor lobii by BASCH (1865), the adductor of the glossa by DU PORTE (1920), and the flexor of the glossa by WALKER (1931).

## 4) Levator of the paraglossa (32).

The levator arises on the cephalo-proximal portion of the palpiger immediately distad of the distal attachment of the lateral retractor of the mentum, and is inserted into the cephalic base of the glossa.

5) Flexor of the paraglossa (33).

This is a strong bundle of fibers arising on the ridge of the posterior wall of the mentum immediately laterad of the flexor of the glossa and distad of the median retractor of the mentum, and inserted into the posterior base of the paraglossa. It is corresponding to the musculus adductor lobii by BASCH (1865), the muscolo sternale terzo by BERLESE (1909), the adductor of the paraglossa by DU PORTE (1920), and the flexor of the paraglossa by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

6) Ventral proximal dilator of the salivary orifice (34).

The dilator is a short muscle arising on the posterior base at the lateral side of the preceding, and inserted into the latero-ventral portion of the salivary orifice. It is corresponding to the muscolo labioipofaringeo primo by BERLESE (1909), the proximal muscle of the salivary cup by SNODGRASS (1928), and the ventral dilator of the salivary orifice by WALKER (1931).

7) Ventral distal dilator of the salivary orifice (35).

The dilator is a short muscle arising on the posterior wall between the distal attachment of the median retractor of the mentum and the base of the labial palpus, and inserted into the latero-posterior portion of the salivary orifice immediately distad of the insertion of the preceding. It corresponds to the musculus protrusor linguae by BASCH (1865), the muscle of the salivary cup by SNODGRASS (1928), and the protractor of the hypopharynx by WALKER (1931).

8) Levator of the labial palpus (36).

The levator is a muscle arising on the cephalo-proximal end of the palpiger at the same portion of the distal attachment of the lateral retractor of the mentum, and inserted into the latero-cephalic base of the first segment of the labial palpus. It may correspond to the musculus adductor palpi labialis by BASCH (1865), the muscolo del palpo primo by BERLESE (1909), the extensor of the palpus by

DU PORTE (1920), the levator of the labial palpus by SNODGRASS (1928), and the abductor of the labial palpus by WALKER (1931).

9) Depressor of the labial palpus (37).

The depressor is a short but stout muscle arising on the cephalic wall of the mentum, and inserted into the medio-posterior base of the first segment of the palpus. It may correspond to the musculus abductor palpi labialis by BASCH (1865), the muscolo del palpo terzo by BERLESE (1909), the flexor of the palpus by DU PORTE (1920), the depressor of the labial palpus by SNODGRASS (1928), and the adductor of the labial palpus by WALKER (1931).

10) Levator of the second segment of the labial palpus (38).

This is a slender muscle arising on the median wall of the first segment of the labial palpus, and inserted into the cephalic base of the second segment of the palpus.

11) Depressor of the second segment of the labial palpus (39).

The depressor is originated on the median wall of the first segment immediately laterad of the proximal attachment of the preceding, and inserted into the posterior base of the second segment.

12) Levator of the third segment of the labial palpus (40).

The levator is a slender muscle originated on the median proximal wall of the second segment and inserted into the cephalic base of the third segment.

13) Depressor of the third segment of the labial palpus (41).

The depressor is a muscle arising on the median proximal portion of the second segment and attached to the cephalic base of the terminal segment.

14) Retractor of the hypopharynx (42).

The retractor is a strong and long muscle arising on the lateral end of the submentum, passing under the tentorial body, and inserted into the small apodemes formed on the lateral portion of the salivary

orifice. It corresponds to the *musculus retractor linguae posterior* by BASCH (1865), the *muscolo primo della ipofaringeo* by BERLESE (1909), and the retractor of the hypopharynx by DU PORTE (1920) and SNODGRASS (1928).

#### 15) Dorsal dilator of the salivary orifice (43).

This muscle is strong bundle of fibers arising on the lateral rod of the hypopharyngeal base, obliquely running medially, and inserted with the bundle of the opposit side into the median line of the lower side of the hypopharynx or the anterior side of the salivary orifice. It corresponds to the *musculus retractor internus linguae* by BASCH (1865), the *muscolo secondo della ipofaringeo* by BERLESE (1909), the compressor of the hypopharynx by DU PORTE (1920), and the dorsal dilator of the salivary orifice by WALKER (1931).

### IV. COMPARISON WITH THE HEAD MUSCULATURE OF THE OTHER INSECTS

The head musculature of the present species is here compared with those of the other orthopteroid insects as the following table, in which the numerals show the number of bundles of muscles:

Names of insects and authors. Names of muscles.	Present Species.	<i>Grylloblatta</i> WALKER (1931).	<i>Disosternus</i> SNODGRASS (1928).	<i>Acridium</i> BERLESE (1909).	<i>Gryllus</i> DU PORTE (1920).
Compressor of labrum. . . . .	1	0	1	1	1
Anterior retractor of labrum. . . . .	1	1	1	1	1
Posterior retractor of labrum. . . . .	1	1	1	1	3
Muscolo adduttore terzo labbro superiore (BERLESE). . . . . }	0	0	0	1	0
Levator of antenna. . . . .	2	1	2	2	2
Depressor of antenna. . . . .	2	2	2	2	1
Extensor of flagellum. . . . .	2	1	1		1
Flexor of flagellum. . . . .	2	1	1		1
Tergal abductor of mandible. . . . .	1	1	1	1	1

Names of insects and authors. Names of muscles.	Present Species.	<i>Grylloblatta</i> WALKER (1931).	<i>Dissosteira</i> SNODGRASS (1928).	<i>Acridium</i> BERLESE (1909).	<i>Gryllus</i> DU PORTE (1920).
Tergal adductor of mandible. . . . .	1	1	1	1	1
First ventral or tentorial adductor of mandible. . . . .	1	1	0	0	0
Second ventral or tentorial adductor of mandible. . . . .	1	0	0	0	0
Hypopharyngeal adductor of mandible.	1	1	0	0	0
Promotor of cardo. . . . .	1	1	1	1	1
Adductor of cardo. . . . .	2	3	2	3	2
Proximal adductor of stipes. . . . .	1	} 1	1	1	} 1
Distal adductor of stipes. . . . .	1		2	1	
Cranial flexor of lacinia. . . . .	1	1	1	1	0
Stipital flexor of lacinia. . . . .	2	2	2	1	1
Muscolo adduttore della lacinia. (BERLESE) . . . . .	0	0	0	1	0
Flexor of galea. . . . .	1	1	1	1	1
Levator of maxillary palpus. . . . .	1	0	1	0	0
Elektor of maxillary palpus. . . . .	1	1	1	1	1
Extensor of maxillary palpus. . . . .	1	1	0	1	1
Muscle of second segment of maxillary palpus. . . . .	1	1	1	2	2
Muscle of third segment of maxillary palpus. . . . .	1	1	1	2	2
Muscle of fourth segment of maxillary palpus. . . . .	2	1	1	2	2
Muscle of fifth segment of maxillary palpus. . . . .	2	1	1	2	2
Lateral retractor of mentum. . . . .	1	1	1	0	1
Distal retractor of mentum(SNODGRASS).	0	0	1	1	1
Median retractor of mentum. . . . .	1	1	0	0	1
Flexor of glossa. . . . .	1	1	0	0	1
Levator of glossa. . . . .	1	0	0	0	0
Flexor of glossa. . . . .	1	1	1	1	1
Ventral proximal dilator of salivary orifice. . . . .	1	1	1	1	0
Ventral distal dilator of salivary orifice.	1	1	1	0	0
Levator of labial palpus. . . . .	1	1	1	1	1
Depressor of labial palpus. . . . .	1	1	1	1	1
Muscle of second segment of labial palpus. . . . .	2	2	1	2	2

Names of insects and authors.	Present Species.	<i>Grylloblatta</i> WALKER (1931).	<i>Dissosteira</i> SNODGRASS (1928).	<i>Acridium</i> BERLESE (1909).	<i>Gryllus</i> DU PORTE (1920).
Names of muscles.					
Muscle of third segment of labial palpus. . . . . }	1	1	1	2	2
Retractor of hypopharynx. . . . .	1	0	1	1	1
Dorsal dilator of salivary orifice. . . .	1	1	0	1	1

The muscles of the labrum are resemblant to those of *Dissosteira* (SNODGRASS 1928) and *Gryllus* (DU PORTE 1920) especially to the former, also considerably resembled to those of *Grylloblatta* (WALKER 1931) and *Acridium* (BERLESE 1909), but in *Grylloblatta* (WALKER 1931) the compressor of the labrum is wanting, and in *Acridium* (BERLESE 1909) there is present a special muscle designated by him as the "muscolo adduttore terzo superiore" which is lacking not only in the present species, but also in the others.

The antennal levators and depressors are nearly resemblant to those of the other species, though the levator of *Grylloblatta* and the depressor of *Gryllus* are not divided into two bundles as in the present species.

The antennal segmental muscles are different from those of the other species, both the flexor and depressor of the present species being distinctly divided into two bundles. DU PORTE (1920) describes that the longitudinal segmental muscles are present in each segment of the flagellum. As far as the writer observes *Gryllus* sp. there is no muscle in the segments of the flagellum. On the other hand BAUER (1910) says that there is no muscle in the distal part beyond the third antennal segment of *Dytiscus*, likewise SNODGRASS (1928) recognizes the same feature in many insects. The latter author suggests that the flagellum of insects is a single segment, secondarily subjointed, and must be corresponding to the flagellum of the crustacean antenna which is a many jointed dactylopodite. Therefore DU PORTE's description is doubtful.

The dorsal abductor and adductor of the mandible are resemblant to those of the other species.



In the present species there are three mandibular adductors else, the first and second ventral or tentorial adductors, and the hypopharyngeal adductor; these are peculiar muscles, present in only the lower biting insects, found in *Periplaneta* (MANGAN 1908), *Locusta* (BÖRNER 1909), *Microcentrum* (SNODGRASS 1928), and *Grylloblatta* (WALKER 1931), but the first and the last species are provided with only one tentorial adductor and one hypopharyngeal adductor.

The muscles of the maxilla of the present species are different from the other species in the several points as follows: The presence of the levator of the maxillary palpus and the feature of the adductor of the stipes, of the adductor of the cardo, and of the muscles of the fourth and fifth segments of palpi are different from *Grylloblatta*; the feature of the distal adductor of the stipes and of the extensor of maxillary palpus is merely different from *Dissosteira*; the presence of the levator of the maxillary palpus, the feature of the adductor of the cardo, of the stipital flexor of the lacinia, and of the muscles of the second and third segments of palpi, and the wanting of the adductor of the lacinia are different from *Acridium*; the presence of the proximal adductor of the stipes, of the cranial flexor of the lacinia, of the levator of the maxillary palpus, and the feature of the musculatures of the second and third segments of palpi are different from *Gryllus*. We may, therefore, say that the feature of the musculature of the present species is more resemblant to that of *Dissosteira* than the others, being very much different from that of *Gryllus*.

The labial musculature is also different from the other species in several points. In the present species the presence of the median retractor of the mentum, of the flexor of the glossa, and of the levator of the glossa, and the feature of the muscles of the second and third segments of the labial palpus are different from *Dissosteira* (SNODGRASS 1928); the presence of the median retractor of the mentum, of the flexor of the glossa, of the levator of the glossa, and of the distal muscle of the salivary orifice is different from *Acridium* (BERLESE 1909); the presence of the levator of the glossa and of the ventral dilators of the salivary orifice is different from *Gryllus*; however

the labial musculature of the present species is merely differing from that of *Grylloblatta* (WALKER 1931) by the presence of the levator of the glossa and the feature of the muscles of the third segment of the labial palpus. It may be, therefore, said that the labial musculature of the present species is more allied to that of the *Grylloblatta* than the others.

Comparing the main lengthwise muscles of the labium with those of the other species there are found interesting relations among them. *Grylloblatta* (WALKER 1931) and the present species are resemblant to each other by the presence of the lateral retractor of the mentum, of the median retractor of the mentum, and of the flexor of the glossa, though the flexor of the glossa is not present in the former species. *Dissosteira* (SNODGRASS 1928) and *Acridium* (BERLESE 1909) are resemblant to each other by the lack of the median retractor of the mentum, of the flexor of the glossa, and of the levator of the glossa, and by the presence of the distal retractor of the mentum, though the lateral retractor of the mentum is wanting in the latter species. *Gryllus* (DU PORTE 1920) is provided with the median retractor of the mentum and the flexor of the glossa which are present in the present species and the *Grylloblatta* but wanting in the *Dissosteira* and the *Acridium*, while it has the distal retractor of the mentum which is wanting in the *Grylloblatta* and the present species but present in the *Dissosteira* and the *Acridium*. Therefore the labial musculature of the *Gryllus* seems to be an intermediate form between the *Grylloblatta* or the present species and the *Dissosteira* or the *Acridium*.

The labial musculature of the present species also somewhat resembles that of *Machilis* (VERHOEFF 1904) especially in the presence of the median retractor of the mentum. The feature of the labial musculature of the present species resembled to those of the *Grylloblatta* and the *Machilis* might be possibly considered as a more primitive type than that of the *Acridium* or the *Dissosteira*, since *Grylloblatta* has been considered as a more primitive group in orthopteroid insects in general, likewise *Machilis* also as a primitive group in insects.

The hypopharyngeal muscles of the present species are resemblant

to those of *Acridium* (BERLESE 1909) and *Gryllus* (DU PORTE 1920) in the presence of the dorsal dilator of the salivary orifice and the retractor of the hypopharynx, but different from *Dissosteira* (SNODGRASS 1928) and *Grylloblatta* (WALKER 1931), in the former the dorsal dilator of the salivary orifice is lacking and in the latter the retractor of the hypopharynx is absent.

## V. DILATOR MUSCLES ARISING ON THE HEAD AND CIRCULAR MUSCLES IN THE STOMODEUM

(Figs. 1 and 7)

### 1) First anterior dilator of the buccal cavity (44)

The muscle is a short and stout bundle of fibers arising on the inner wall of the clypeus, passing between the anterior retractor of the labrum and the posterior retractor of the labrum, and inserted into the anterior wall of the buccal cavity. It corresponds to the first precerebral dorsal dilator by DU PORTE (1920), the clypeo-pharyngealis by EIDMANN (1925), the first anterior dilator of the buccal cavity by SNODGRASS (1928), and the dorsal dilator of the buccal cavity by WALKER (1931).

### 2) Second anterior dilator of the buccal cavity (45).

The dilator is a muscle originated on the clypeus and the epistomal ridge dorsad of the preceding, and inserted into the anterior wall of the buccal cavity dorsad of the insertion of the first anterior dilator. It corresponds to the second anterior dilator of the buccal cavity by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

### 3) First dorsal dilator of the pharynx (46).

This dilator is a slender muscle arising on the frontal area between the antennae proximad of the preceding, and attached to the anterior wall of the pharynx. It corresponds to the second precerebral dorsal dilator by DU PORTE (1920), the fronto-pharyngeal Gruppe by EIDMANN (1925), the first dorsal dilator of the pharynx by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

### 4) Second dorsal dilator of the pharynx (47).

The second dorsal dilator is a very slender muscle originated on the frontal area between the antennae at the dorsal side of the first dilator of the pharynx, and inserted into the anterior wall of the pharynx dorsad of the preceding. It corresponds to the third precerebral dorsal dilator by DU PORTE (1920), the fronto-pharyngeal Gruppe by EIDMANN (1925), the second dorsal dilator of the pharynx by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

5) Third dorsal dilator of the pharynx (48).

The third dorsal dilator is a fan-shaped muscle arising on the vertical area of the head immediately cephalad of the median bundle of the dorsal mandibular adductor, and inserted by widely spreading base into the dorsal wall of the posterior pharynx. It corresponds to the post-cerebral dorsal dilator by DU PORTE (1920), the parieto-pharyngealis by EIDMANN (1925), the third dorsal dilator of the pharynx by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

6) Retractor of the mouth angle (49).

The retractor is a very strong muscle arising on the frons between the compound eyes immediately dorsad of the origins of the anterior and posterior retractors of the labrum, and inserted into the oral arm of the hypopharyngeal suspensorial rod at the lateral angle of the mouth. It corresponds to the musculus retractor lingue anterior by BASCH (1865), the fronto-pharyngeal Gruppe by EIDMANN (1925), the elevator of the hypopharynx by DU PORTE (1920), the retractor of the mouth angle by SNODGRASS (1928) and WALKER (1931).

7) Lateral dilator of the pharynx (50).

The lateral dilator is a loosely bundled muscle arising on the posterior face of the distal portion of the dorsal arm of the tentorium, and inserted into the lateral portion of the pharynx. It corresponds to the fronto-pharyngeal Gruppe by EIDMANN (1925), the second lateral dilator of the pharynx by SNODGRASS (1928), and the lateral dilator of the pharynx by WALKER (1931).

8) Ventral dilator of the buccal cavity (51).

The ventral dilator is a median very slender muscle arising on the median portion of the ventral face of the tentorial body, and inserted into the median portion of the posterior wall of the mouth. It corresponds to the tentorio-pharyngealis by EIDMANN (1925) and the ventral dilator of the buccal cavity by SNODGRASS (1928).

9) First ventral dilator of the pharynx (52).

The first ventral dilator is a muscle arising with the bundle of the opposite side on the median portion of the cephalic face of the tentorial body, obliquely running laterally, and inserted into the latero-ventral portion of the pharynx at the posterior [side of the hypopharyngeal suspensorial rod. The muscle corresponds to the tentorio-pharyngealis by EIDMANN (1925) and the first ventral dilator of the pharynx by SNODGRASS (1928).

10) Second ventral dilator of the pharynx (53).

This muscle is a loose bundle of fibers originated on the cephalic face of the posterior end of the anterior tentorial arm, and inserted into the latero-ventral portion of the pharynx on the dorsal side of the preceding. It corresponds to the tentorio-pharyngealis by EIDMANN (1925), the second ventral dilator of the pharynx by SNODGRASS (1928), and the first ventral dilator of the pharynx by WALKER (1931).

11) Third ventral dilator of the pharynx (54).

The third ventral dilator is a large fan-shaped muscle arising on the cephalic end of the posterior tentorial arm, and inserted into the latero-ventral portion of the pharynx. It corresponds to the ventral dilator by DU PORTE (1920), the tentorio-pharyngealis by EIDMANN (1925), and the third ventral dilator of the pharynx by SNODGRASS (1928).

12) Fourth ventral dilator of the pharynx (55).

This dilator is a large fan-shaped muscle arising on the caudal portion of the posterior tentorial arm near the margin of the occipital foramen, and inserted into the latero-ventral portion of the posterior of the pharynx. It corresponds to the occipito-pharyngealis by

EIDMANN (1925), the anterior dilator of the crop in *Dissosteira* by SNODGRASS (1928), and the second ventral dilator of the pharynx by WALKER (1931).

### 13) Constrictors or circular muscles of the stomodeum.

On the stomodeum there are present constrictors and dilators of the crop in addition to the already mentioned muscles. The dilators of the crop originated on the prothorax will be described in the chapter on the thoracic muscles.

The constrictors of the stomodeum are muscles being not originated on the body wall, consisting of fine and short fibers, and stretched on the wall of the stomodeum transversely or obliquely, especially thickly on the pharynx and proventriculus. (Not figured).

## VI. COMPARISON WITH THE MUSCLES OF THE STOMODEUM ARISING ON THE HEAD IN SOME OTHER INSECTS

The muscles of the stomodeum originated on the head are compared with those of the other insects in the following table, in which "×" shows the presence of the muscle, and "○" shows the absence of the same:

Names of insects and authors.	Present species	<i>Gryllobrattia</i> WALKER (1931).	<i>Dissosteira</i> SNODGRASS (1928).	<i>Gryllus</i> DU PORTÉ (1920).	<i>Periplaneta</i> EIDMANN (1925).
Names of Muscles.					
First anterior dilator of buccal cavity. . .	×	×	×	×	×
Second anterior dilator of buccal cavity. .	×		×		×
First dorsal dilator of pharynx. . . . .	×	×	×	×	×
Second dorsal dilator of pharynx. . . . .	×	×	×	×	×
Third dorsal dilator of pharynx. . . . .	×	×	×	×	×
Protractor of mouth angle (WALKER). . .	○	×	○	○	○
Retractor of mouth angle. . . . .	×	×	×	×	×
First lateral dilator of pharynx (SNODGRASS).	○	○	×	×	○

Names of insects and authors.	Present species.	<i>Grylloblatta</i> WALKER (1931).	<i>Dissosteira</i> SNODGRASS (1928).	<i>Gryllus</i> DU FORTE (1920).	<i>Periplaneta</i> EIDMANN (1925).
Names of Muscles.					
Lateral dilator of pharynx. . . . .	×	○	×	○	×
Ventral dilator of buccal cavity. . . . .	×	○	×	×	} 6 branches
First ventral dilator of pharynx. . . . .	×	○	×	○	
Second ventral dilator of pharynx. . . . .	×	×	×	○	
Third ventral dilator of pharynx. . . . .	×	○	×	×	
Fourth ventral dilator of pharynx. . . . .	×	×	×	×	×

As we readily understand from the above table the pharyngeal muscles arising on the head of the present species are more resemblant to those of *Periplaneta* (EIDMANN 1925) and *Dissosteira* (SNODGRASS 1928) than those of the other species. But the ventral pharyngeal dilators in *Periplaneta* are more branched, and *Dissosteira* is provided with two lateral dilators, moreover the muscle of the latter species corresponding to the fourth ventral dilator of the pharynx of the present species is inserted into the oesophagus.

## VII. SUMMARY OF THE HEAD MUSCULATURE

- 1) The levator of the glossa is present.
- 2) The muscles of the labrum and the antenna are resemblant to those of *Dissosteira*.
- 3) The muscles of the mandible and the labium are resemblant to those of *Grylloblatta*, and show primitive features.
- 4) The muscles of the hypopharynx are resemblant to those of *Gryllus* and *Acridium*.
- 5) The muscles of the stomodeum arising on the head are resemblant to those of *Dissosteira*.

## VIII. MUSCULATURE OF THE THORAX

(Figs. 8, 10, 13, 20 and 22)

### A. MUSCLES OF THE PROTHORAX

#### a. Protractor of the Crop and Gastric Caecum (57)

The muscle is a slender and long bundle of fibers arising on the apex of the anterior lateral prolongation of the median ridge in the pronotum, extending to the anterior portion of the abdomen through the meso- and metathorax, and separated into fine branches at the distal portion, some of the branches are inserted into the posterior portion of the crop, and the others into the gastric caecum. It corresponds to the *musculus protractor intestinalis* by VOSS (1905), the *suspensorium* of the crop and gastric caecum by DU PORTE (1920), and the posterior protractor of the crop and gastric caecum by SNODGRASS (1929).

#### b. Anterior Muscle of the Ovary (58)

The anterior muscle of the ovary is slender, very long, arising on the lateral portion of the anterior transverse ridge prolonged from the anterior portion of the median ridge of the pronotum at the same portion of the origin of the preceding, extending to the anterior segments of the abdomen along the aorta, diverging at the posterior portion of the thorax, and inserted into the terminal filaments of some ovarioles on the anterior portion of the oviduct.

#### c. Muscles of the Thoracic Gland

##### 1) Suspensorium of the thoracic gland (59).

The suspensorium is a slender muscle arising on the same portion of the anterior attachment of the preceding at the pronotum, separated into several fine branches at the distal end, and inserted into the dorsal wall of the thoracic gland.

##### 2) Dorsal rotator of the orifice of the thoracic gland (60).

This is a very slender muscle arising on the dorsal portion of



the opening of the defence organ or thoracic gland at the anterior lateral corner of the pronotum, and inserted into the ridge between the eucervicale and the postcervicale.

3) Anterior rotator of the orifice of the thoracic gland (61).

The muscle is somewhat strong and not flattened, originated on the cephalo-ventral marginal thickening of the opening of the thoracic gland situated at the cephalo-lateral corner of the pronotum, and attached to the same portion of the insertion of the preceding.

4) Posterior rotator of the orifice of the thoracic gland (62).

This muscle is a strong bundle of fibers originated on the caudo-ventral portion of the marginal thickening of the thoracic gland at the cephalo-lateral corner of the pronotum, and inserted into the dorsal or lateral portion of the postcervicale.

In *Gryllus* (VOSS 1905, and DU PORTE 1920) and *Dissosteira* (SNODGRASS 1929) there are found two muscles stretched between the pronotum and the lateral cervical sclerites, they are respectively called the musculus intersegmentalis microthoracis and the m. int. secundus by VOSS (1905), the muscolo tergosternale quinto and the m. intersegmentale iugulare terzo by BERLESE (1909), the second and third rotators of the head by DU PORTE (1920), and the protergal muscles of the cervical sclerites by SNODGRASS (1928-29), and resembling the three preceding muscles of the present species, the latter muscles might be specialized from the muscles corresponding to the above mentioned ones of those species.

5) Constrictors or circular muscles of the thoracic gland (63).

The muscles consist of fine fibers surrounding the whole surface of the thoracic glandular sac transversely or obliquely.

6) Longitudinal muscles of the thoracic gland (64).

These muscles consist of fine fibers stretched on the thoracic glandular sac longitudinally either through, among, or on the fibers of the circular muscles.

#### d. Dorsal Muscles

##### 1) First dorsal muscle (65).

This muscle is long and strong, flattened, arising on the lateral slender apodeme on the membranous region of the cervical dorsal area, and inserted into the small phragma formed between the pro- and mesothoracic terga near the median line. It may correspond to the elevator capitis by LUKS (1883), the musculus micronoti (or pronoti) secundus by VOSS (1905), the muscolo iugulare dorsale secundo by BERLESE (1909), the elevator of the head by DU PORTE (1920), and the longitudinal dorsal muscle of the neck and prothorax by SNODGRASS (1929).

##### 2) Second internal dorsal muscle (66).

The second internal dorsal is an oblique strong muscle which is flattened, somewhat fan-shaped, originated on the caudal side of the posterior lateral prolongation of the median thickening at the middle area of the pronotum, and inserted into the lateral portion of the posterior end of the pronotum. It may correspond to the musculus pronoti tertius by VOSS (1905), the *muscolo del pronoto tergo* by BERLESE (1909), and the *third pronotal muscle* by DU PORTE (1920).

##### 3) Third internal dorsal muscle (67).

The origin and insertion of this muscle are situated on the lateral sides of those of the second internal dorsal muscle respectively and more obliquely than the latter.

##### 4) Second external dorsal muscle (68).

This muscle is more or less slender and shorter than the second internal dorsal muscle, and the origin and insertion occur at the external side of the latter muscle. It may correspond to the *muscolo del pronoto tergo* by BERLESE (1909), and the *third pronotal* by DU PORTE (1920).

##### 5) Third external dorsal muscle (69).

This is slender, shorter and more oblique than the third internal

dorsal muscle. It arises on the caudal portion of the pronotum near the cephalic attachment of the second external dorsal muscle, and is externally inserted into the same portion of the posterior attachment of the third internal dorsal muscle.

6) Protergal muscle of the head (70).

This is a strong muscle which is flattened, stretched at the outer side of the first dorsal muscle, arising on the latero-basal side of the apodeme on which the latter muscle is attached, and inserted into the lateral side of the median ridge on the middle area of the pronotum. It may correspond to the *musculus micronoti* (or *pronoti*) *primus* by VOSS (1905), the *muscolo iugulare dorsale primo* by BERLESE (1909), the elevator of the head by DU PORTE (1920), and the second protergal muscle of the head by SNODGRASS (1929).

7) Cervical dorsal muscle (71).

The cervical dorsal is a somewhat strong muscle arising on the marginal thickening of the occipital foramen at the dorsal side of the occipital condyle articulated with the anterior portion of the lateral cervical sclerite, and inserted into the anterior end of the pronotum near the median line.

### e. Ventral Muscles

1) Internal ventral muscle (72).

This is a long, strong and flattened muscle arising on the large apodeme projected caudally from the posterior base of the posterior tentorial arm, and inserted into the posterior end of the prosternum near the lateral corner. It may correspond to the *musculus microsterni quartus* and *quintus* by VOSS (1905), the *muscolo iugulare quarto* and *quinto* by BERLESE (1909), the outer and inner depressors of the head by DU PORTE (1920), and the longitudinal ventral muscle of the prothorax by SNODGRASS (1929).

## 2) External ventral muscle (73).

The external muscle is a flattened bundle of fibers arising on the latero-caudal side of the postcervicale, and inserted externally into the same portion of the caudal attachment of the preceding. It corresponds to the *musculus microsterni tertius* by VOSS (1905), the *muscolo iugulare ventrale terzo prosterno iugulare* by BERLESE (1909), and the short depressor of the head by DU PORTE (1920).

## f. Tergo-Pleural Muscles

## 1) First anterior tergo-pleural muscle of the prothorax (74).

The muscular bundle is short, but very stout, flattened laterally, fan-shaped, originated on the lateral end of the anterior lateral prolongation of the median thickening at the pronotum, and inserted into the cephalo-dorsal corner of the episternum.

## 2) Second anterior tergo-pleural muscle of the prothorax (75).

This muscle is composed of one group of fine, short and vertical bundles which are arranged in a row, originated on the lateral portion of the pronotum and inserted into the dorsal marginal portion of the episternum.

## 3) First cephalic muscle of the cervical sclerite (76).

This muscle is very strong and not flattened, originated on the dorso-lateral portion of the marginal thickening of the occipital foramen latero-cephalad of the apodeme on which the first dorsal longitudinal muscle is attached, and inserted into the middle portion of the postcervicale near the caudal margin. It may correspond to the muscle called the *rotator capitis externus* by LUKS (1883), and the *musculus dorsoventralis secundus microthoracis* by VOSS (1905) and the fourth rotator of the head by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, as well as the first cephalic muscle of the cervical sclerites in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

## 4) Second cephalic muscle of the cervical sclerite (77).

This bundle of muscular fibers is also strong, flattened laterally, fan-shaped, originated on the dorso-lateral portion of the marginal

thickening of the occipital foramen immediately caudad of the origin of the preceding, and inserted into the postcervicale at the median side of the ventral end of the first cephalic muscle of the cervical sclerite. It may correspond to the rotator capitis externus by LUKS (1883), the musculus dorsoventralis tertius microthoracis by VOSS (1905) and the fifth rotator of the head by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, and the second cephalic muscle of the cervical sclerites in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

### **g. Sterno-Pleural Muscle**

Intersegmental sterno-pleural muscle (78).

The muscle is a bundle of fibers arising on the lateral end of the intersegmental ridge between the pro- and mesothoracic sterna, and inserted into the peritreme immediately caudad of the posterior lip of the first thoracic spiracle.

### **h. Muscles of the First Thoracic Spiracle**

According to SNODGRASS (1929) the muscles of the first spiracle of the thorax belong to the prothoracic segment, and the muscles of the second spiracle of the same to the mesothoracic. In the present paper these muscles will be described in adoption of his idea.

#### **1) Anterior occlusor of the first spiracle (79).**

This occlusor is a short and strong bundle of fibers originated ventrally on the thickened portion of the lower angle of the peritreme, and inserted into the cephalo-ventral portion of the anterior thickened lip of the spiracle. It corresponds to the musculus lateralis stigmaticus by VOSS (1905), the anterior occlusor by VINAL (1919) and LEE (1925), and the first occlusor by DU PORTE (1920).

#### **2) Posterior occlusor of the first spiracle (80).**

This muscle is resemblant to the preceding one, originated ventrally from the same portion of the ventral attachment of the anterior occlusor, and inserted into the posterior thickened lip of the spiracle.

It corresponds to the musculus lateralis stigmaticus by VOSS (1905), the posterior occlusor by VINAL (1919) and LEE (1925), and the second occlusor by DU PORTE (1920).

### i. Coxal Muscles

#### 1) Tergal promotor of the coxa (81).

The tergal promotor is a slender muscle originated on the lateral side of the middle portion of the median thickening and inserted into the slender apodeme projected on the middle portion of the torochantin. It may correspond to the musculus dorsoventralis primus prothoracis by VOSS (1905), the muscolo dorsoventrale primo del prothorace by BERLESE (1909), the first dorsoventral muscle of the prothorax by DU PORTE (1920), and the tergal promotor of the coxa by SNODGRASS (1929).

#### 2) Pleural promotor of the coxa (82).

This muscle is also slender, originated on the dorsal end of the episternum, and inserted into the same apodeme on which the tergal promotor attaches. It may correspond to the musculus lateralis quintus prothoracis by VOSS (1905) and the fifth lateral muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*.

#### 3) First tergal remotor of the coxa (83).

The muscle is exceedingly large, laterally flattened, fan-shaped, originated on the median ridge at the pronotum and inserted into the large tongue-like apodeme projected on the caudo-dorsal portion of the basal marginal portion of the coxa. It may correspond to the musculus dorsoventralis secundus prothoracis by VOSS (1905) and the second dorsoventral by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, the muscolo dorsoventrale secondo by BERLESE (1909), and the first tergal remotor by SNODGRASS (1929) in *Dissosteira*.

#### 4) Second tergal remotor of the coxa (84).

This muscular bundle is as long and flattened as the preceding, but not strong, originated from the lateral side of the third internal dorsal muscle near the caudal prolongation of the median thickening

of the pronotum, and inserted into the same apodeme on which the first tergal remotor attaches. It may correspond to the *musculus dorsoventralis septimus prothoracis* by VOSS (1905) in *Gryllus*, the *muscolo dorsoventrale settimo* by BERLESE (1909), and the second tergal remotor of the coxa by SNODGRASS (1929). According to DU PORTE (1920) this muscle is wanting in *Gryllus assimilis*.

5) Third tergal remotor of the coxa (85).

The tergal remotor is a very strong, flattened and fan-shaped muscle originated on the latero-median portion of the pronotum at the dorsal or external side of the middle portion of the third internal dorsal muscle, crossing externally the first and second tergal remotor of the coxa, and inserted into the apodeme projected on the caudo-lateral portion of the basal margin of the coxa near the coxal process of the pleuron. It may correspond to the *musculus lateralis sextus prothoracis coxae* by VOSS (1905) and the six lateral by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, the *muscolo laterale sesto* by BERLESE (1909), and the third tergal remotor of the coxa by SNODGRASS (1929) in *Dissosteira*.

6) Anterior sternal promotor (or rotator) of the coxa (86).

This muscle is strong, flattened, somewhat fan-shaped, arising on the caudal portion of the prosternum somewhat near the median line, and inserted into the coxal margin articulated with the trochantin at the cephalic portion of the coxa. It may correspond to the *musculus pedalis primus prothoracis* by VOSS (1905), and the first pedal muscle of the prothorax in *Gryllus* by DU PORTE (1920), the *muscolo pedale primo del protorace* by BERLESE (1909), and the anterior sternal promotor (or rotator) in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

7) Posterior sternal remotor (or rotator) of the coxa (87).

This muscle is somewhat strong, flattened and more or less fan-shaped. It is originated on the caudal portion of the prosternum near the lateral corner, and inserted into the hard projection of the *basicosta* on the caudal portion of the coxal basal margin. It may

correspond to the musculus pedalis septimus prothoracis in *Gryllus* by VOSS (1905), the muscolo pedale settimo by BERLESE (1909), and the second posterior remotor (or rotator) in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929). In the present species the muscle corresponding to the first posterior remotor by SNODGRASS (1929) or musculus pedalis secundus prothoracis by VOSS (1905) is wanting.

8) Tergal abductor of the coxa (88).

The tergal abductor is very strong, long, somewhat laterally flattened, originated on the caudal side of the lateral prolongation of the median thickening, and inserted into the broad but short lobe-like apodeme projected on the cephalo-lateral corner of the basal marginal portion of the coxa. This muscle is wanting in *Gryllus* (VOSS 1905, and DU'PORTE 1920) and in also *Dissosteira* (SNODGRASS 1929).

9) Pleural abductor of the coxa (89).

This muscle is exceedingly stout, fan-shaped, originated on the dorsal region of the episternum, and inserted into the dorso-caudal half of the apodeme on which the tergal abductor is attached. It may correspond to the musculus lateralis quartus prothoracis by VOSS (1905) and the fourth lateral muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, the muscolo laterale quarto by BERLESE (1909), and the abductor of the coxa by SNODGRASS (1929) in *Dissosteira*.

10) Sternal adductor of the coxa (90).

This muscular bundle is small, originated on the caudal portion of the prosternum between the insertion of the posterior sternal remotor of the coxa and of the anterior sternal promotor, and inserted into the ventral basal marginal portion of the coxa. It may correspond to the musculus pedalis tertius prothoracis by VOSS (1905) and the third pedal muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, the muscolo pedale terzo by BERLESE (1909), and the adductor of the coxa in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).



# 11) Pleural adductor of the coxa (91).

The pleural adductor of the coxa is a somewhat strong muscle which is flattened, arising on the dorsal end of the epimeron, and inserted into the basal ventral corner of the coxa immediately dorsad of the insertion of the sternal adductor.

## j. Body Trochanteric Muscle

### Depressor of the trochanter (92).

This is a huge muscle originated on the dorsal portion of the episternum, and inserted into the apodeme projected from the ventral basal rim of the trochanter together with the other depressors of the coxal trochanteric muscles which are composed of three bundles, each one being originated from the distal side of the sternal abductor, the anterior and the posterior sternal rotator of the coxa respectively. It may correspond to the muscle called the musculus lateralis quartus a prothoracis by VOSS (1905) and fourth lateral by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, muscolo laterale quarto by BERLESE (1909), and depressor of the trochanter in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

In the present species there are wanting the muscles seemingly corresponding to those following muscles which are found in *Gryllus domesticus* by VOSS (1905) and in *G. assimilis* by DU PORTE (1920): Musculus pronoti primus a segmentalis (first pronotal), m. prosterni primus (first prosternal), m. prosterni septimus (seventh prosternal), m. intersegmentalis prothoracis (prothoracic intersegmental), m. dorsoventralis quintus prothoracis (fifth dorsoventral), m. dorsoventralis octavus prothoracis (eighth dorsoventral), m. pedalis secundus prothoracis (second pedal), m. furcae lateralis prothoracis (furca-entopleural muscle), m. microsterni secundus (cruciate rotator of head), m. microsterni quintus (retractor of head), m. rotator capitis externus primus (first rotator of head), m. dorsoventralis primus microthoracis (seventh rotator of head), m. dorsoventralis quartus microthoracis (sixth rotator

of head), m. pedalis quartus prothoracis, m. lateralis nonus prothoracis, m. lateralis undecimus prothoracis, and m. lateralis duodecimus prothoracis, the four latter being found in *G. domesticus* but not in *G. assimilis*. The above terms included in brackets were used by DU PORTE and the others by VOSS. The present species also lacks the muscles corresponding to the following ones which are present in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929): dorsal lateral neck muscle, first protergal muscle of the head, tergo-pleural intersegmental muscle, and sterno-spinal muscles.

## B. MUSCLES OF THE MESOTHORAX

### a. Dorsal Muscles

#### 1) First internal dorsal muscle (93).

This muscle is a stout but short bundle of fibers which are flattened, originated on the scutum near the median line at the posterior one-third of all the length of the mesonotum, and inserted into the second phragma of the thorax formed between the meso- and metanotum. It may correspond to the musculus mesonoti by LUKS (1883), the musculus mesonoti secundus by VOSS (1905), and the second mesonotal muscle by DU PORTE (1920).

#### 2) Second internal dorsal muscle (94).

The muscle is also a stout bundle of fibers which are shorter than the first one, originated on the scutum at the lateral side of the latter, extending obliquely towards the posterior end of the tergum, and inserted into the intersegmental ridge between the meso- and metatergum. It corresponds to the muscle (66) in the prothorax, and may correspond to the musculus mesonoti tertius in *Gryllus* by VOSS (1905), the muscolo terzo del mesonoto by BERLESE (1909), and the oblique dorsal muscle in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

#### 3) First external dorsal muscle (95).

This muscle is a very short and flattened bundle of fibers originated on the anterior portion of the postscutellum, and inserted

into the phragma on which the first internal dorsal muscle is attached. It may correspond to the musculus mesonoti by LUKS (1883), the musculus mesonoti primus by VOSS (1905) and the first mesonotal muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*.

#### 4) Second external dorsal muscle (96).

This muscular bundle is slender, shorter and more oblique than the second internal dorsal one, originated on the anterior portion of the latero-caudal subdivision of the scutum between the first and second internal dorsals, and inserted into the portion on which the second internal dorsal muscle is attached. It corresponds to the muscle (68) of the prothorax, and may correspond to the musculus lateralis mesonoti by LUKS (1883), the musculus mesonoti quartus in *Gryllus* by VOSS (1905), the muscolo quarto del mesonoto by BERLESE (1909), and the oblique dorsal muscle by SNODGRASS (1929).

#### b. Dorsal Transverse Muscle (97)

The dorsal transverse muscle is a short flattened bundle arising on the lateral margin of the scutellum, and inserted into the ventral side of the heart. It corresponds to the musculus transversus by BURMEISTER (1832), the alary muscle by MIALl and DENNY (1886), the Transversalmuskel by BAUER (1910), and the dorsal transverse muscle (or musculus transversalis dorsalis) by SNODGRASS (1931).

#### c. Ventral Muscle (98)

This muscular bundle is stout but exceedingly reduced in length, flattened dorso-ventrally and very often separated into two bundles. It is originated on the cephalic end of the presternite, and inserted into the posterior of the latter.

#### d. Ventral Transverse Muscle (99)

This muscle is a slender bundle of fibers arising on the middle

portion of the furcal arm, and inserted into the corresponding portion of the arm of opposite side.

#### e. Tergo-Sternal Muscles

##### 1) Intersegmental tergo-furcal muscle (100).

This is a slender muscle originated on the lateral portion of intersegmental ridge between the meso- and metanotum, and inserted into the apical portion of the furcal arm. It may correspond to the musculus intersegmentalis mesothoracis by VOSS (1905) and the mesothoracic intersegmental muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, the muscolo intersegmentale primo del mesotorace by BERLESE (1909), the musculus intersegmentalis dorsalis in *Psylla* by WEBER (1929), and the tergo-sterno-furcal muscle in *Nezara* by MALOUF (1932).

##### 2) First intersegmental tergo-sternal muscle (101).

The muscle is slender, arising on the lateral portion of the tergal antecosta or tergal intersegmental ridge between the pro- and mesothorax, and inserted into the lateral portion of the sternal intersegmental ridge between the same segments.

##### 3) Second intersegmental tergo-sternal muscle (102).

This muscle is a slender bundle of fibers originated on the lateral portion of the tergal intersegmental ridge between the meso- and metathorax, and inserted into the lateral portion of the anterior mesosternum.

##### 4) Third intersegmental tergo-sternal muscle (103).

The muscle is a slender bundle of fibers arising on the lateral portion of the sternal intersegmental ridge between the meso- and metathorax, and inserted into the lateral portion of the posterior mesosternum.

#### f. Tergo-Pleural Muscles

##### 1) Anterior tergo-pleural muscle (104).

This muscle is a group of some fine bundles of vertical short fibers

which are arranged in a row from the wing bearing portion to the cephalic end of the mesothorax, originated on the lateral portion of the mesonotum somewhat far from the lateral margin, and inserted into the lateral margin of the episternum. It corresponds to the second anterior tergo-pleural muscle (75) in the prothorax.

2) Posterior tergo-pleural muscle (105).

This muscle is a strong and somewhat fan-shaped bundle of fibers originated on the cephalo-lateral portion of the caudo-lateral scutal subdivision at the lateral side of the cephalic attachment of the second internal dorsal muscle of this segment, and inserted into the pleural ridge on the dorsal side of the pleural arm. It may correspond to the *musculus lateralis nonus mesothoracis* by VOSS (1905) and the ninth lateral muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, and the *muscolo laterale nono* by BERLESE (1909).

**g. Pleural Muscle (106)**

This muscle is a group of fine bundles of vertical short fibers which are arranged in a row, originated on the dorsal margin of the epimeron, and inserted into the pleural membrane but some anterior fibers into the ventral margin of the subalar plate. It may correspond to the *musculus lateralis septimus* by VOSS (1905), the *muscolo settimo* by BERLESE (1909), and the seventh lateral muscle by DU PORTE (1920).

**h. Sterno-Pleural Muscles**

1) First anterior sterno-pleural muscle (107).

This muscle is a group of fine bundles of vertical short fibers which are arranged in a row, originated on the latero-anterior portion of the basisternite, and inserted into the anterior portion of the episternum at the caudal side of the first spiracle of the thorax.

2) Second anterior sterno-pleural muscle (108).

This is a fan-shaped strong muscle arising on the caudal margin of the anterior subdivision of the sternum at the lateral side of the

caudal attachment of the sternal longitudinal muscles, and inserted into the caudal side of the preceding.

3) Third anterior sterno-pleural muscle (109).

This muscle is composed of a group of short fine bundles resembling those of the first sterno-pleural muscle, situated on the posterior side of the preceding muscle, and connected with the sternum and the episternum as in the first sterno-pleural muscle.

4) Sternal pronator extensor of the fore wing (110).

The muscle is slender, laterally flattened, arising on the caudo-lateral portion of the sternum, and inserted into the first basalar plate at the upper region of the episternum cephalad of the pleural wing process. It may correspond to the *musculus lateralis 4-decimus mesothoracis* by VOSS (1905), the *muscolo laterale decimoquarto* by BERLESE (1909), the fourteenth lateral muscle by DU PORTE (1920), and the first pronator-extensor of the wing by SNODGRASS (1929).

5) Furca-entopleural muscle (111).

The furca-entopleural muscle is a somewhat slender and flattened bundle of fibers originated on the apex of the furcal arm, and inserted into the process of the pleural ridge. It may correspond to the *musculus furcae lateralis mesothoracis* in *Gryllus* by VOSS (1905), and in *Psylla* by WEBER (1929), the *muscolo laterale della forza del mesotrace* by BERLESE (1909), the furca-entopleural muscle in *Cryllus* by DU PORTE (1920), the pleuro-sternal muscle in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929), and the sterno-pleuro-apophysal in *Nezara* by MALOUF (1933).

### i. Muscles of the Second Thoracic Spiracle

According to SNODGRASS (1929) the second thoracic spiracle of *Dissosteira* is provided with only a muscle, but to DU PORTE (1920) that of *Gryllus* with two muscles as the first thoracic spiracle. In the present species there are found two as in *Gryllus*.

1) Anterior occlusor of the spiracle (112).

This muscle is a slender bundle of fine fibers arising on the

thickened process at the ventral angle of the peritreme, and inserted into the cephalo-ventral portion of the anterior thickened lip of the spiracle. It is homologous to the muscle (79) in the first spiracle of the thorax.

2) Posterior occlusor of the spiracle (113).

The muscle is stouter and longer than the preceding. It is originated on the same portion of the ventral attachment of the anterior occlusor, and attached to the caudo-ventral portion of the posterior thickened lip of the spiracle. It is homologous to the muscle (80) in the first spiracle.

**j. Special Wing Muscles**

1) First pleuro-alar muscle (114).

According to VOSS (1905) and DU PORTE (1920) the first pleuro-alar muscle (the musculus lateralis duodecimus mesothoracis by the first author and the twelfth lateral muscle by the second) is stretched between the third axillary and the posterior side of the pleural wing process in *Gryllus*, to SNODGRASS (1929) the same muscle (called pleural alar muscle) arises from the pleural ridge in *Dissosteira*, and to MALOUF (1932) the muscle of *Nezara* is resemblant to the latter. But in the present species the muscle is originated on the dorsal portion of the episternum somewhat far from the pleural wing process. It is also corresponding to the muscolo laterale duodecimo by BERLESE (1909).

2) Second pleuro-alar muscle (115).

This muscle is a slender bundle of fibers arising on the dorsal portion of the pleural ridge, and attached to the anterior portion of the fourth axillary.

**k. Coxal Muscles and Wing Muscles Derived from the Coxal Muscles**

1) Tergal promotor of the coxa (116).

This muscle consists of two bundles of fibers originated on the

lateral portion of the mesonotum near the wing bearing portion, and inserted into the common apodeme at the middle portion of the trochantin. It is homologous to the muscle (81) of the prothorax, and may correspond to the musculus dorsoventralis sextus mesothoracis by Voss (1905).

2) First tergal remotor of the coxa (117).

It is a huge muscle which is flattened laterally, fan-shaped, often divided into two bundles, originated on the lateral portion of the mesonotum at the dorsal side of the wing bearing portion immediately dorsad of the origin of the preceding, and inserted into the apodeme projected on the basal caudal rim of the coxa. It is homologous to the muscle (83) of the prothorax.

3) Second tergal remotor of the coxa (118).

This muscle is strong, not so much flattened as in the preceding, originated on the caudo-lateral division of the scutum at the caudal side of the origin of the preceding, and inserted into the apodeme projected on the basal caudal rim of the coxa immediately laterad of the apodeme on which the first tergal remotor is attached. It is corresponding to the muscle (84) in the prothorax.

4) Sterno-subcoxal promotor of the coxa (119).

The sterno-subcoxal remotor is a slender muscle arising on the sternellum near the median line, and inserted into the trochantin at the anterior side of the coxal articulation.

5) Anterior sternal promotor (or rotator) of the coxa (120).

This muscle is somewhat strong, flattened, originated on the sternellum near the median line immediately caudad of the sternal origin of the preceding, and inserted into the basal cephalo-ventral coxal rim articulated with the trochantin. It is homologous to the muscle (86) of the prothorax.

6) First posterior sternal remotor (or rotator) of the coxa (121).

The posterior sternal remotor is also somewhat strong, flat-



tened, originated on the lateral portion of the sternellum, and inserted into the apodeme projected on the basal caudal rim of the coxa. It is homologous to the muscle (87) of the prothorax.

7) Second posterior sternal remotor of the coxa (128).

The sternal remotor of the coxa is a large muscle originated on the cephalo-median portion of the sternellum, and inserted into the apodeme on which the preceding muscle is attached at the caudo-basal coxal rim. It may correspond to the musculus pedalis secundus mesothoracis in *Gryllus* by VOSS (1905), and to a part of the muscle (87) of the prothorax.

8) Pleural abductor of the coxa.

In the mesothorax the tergal abductor is not present, but the pleural one is well developed.

9) First pleural abductor of the coxa (122).

This muscle is strong, flattened laterally, and somewhat fan-shaped. Its origin occurs on the upper end of the episternum far from the wing base, and its insertion on the large apodeme projected at the cephalo-lateral rim of the coxa. It is corresponding to the first abductor in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

10) Second pleural abductor of the coxa (123).

This muscle is a huge bundle of fibers, which is flattened laterally, fan-shaped, originated on the ventral side of the basalar plate, and inserted into the lateral portion of the apodeme on which the first pleural abductor of the coxa is attached. It corresponds to the second abductor in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

11) Third pleural abductor of the coxa (124).

This is a muscle arising on the anterior side of the pleural ridge at the ventral side of the ventral attachment of the first pleuro-alar muscle and inserted into the apodeme formed on the latero-anterior coxal rim at the anterior side of the coxal process. It is corresponding to the third abductor in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

12) First coxal pronator-extensor of the fore wing (125).

This muscle is somewhat strong, flattened laterally, and more or less fan-shaped, originated on the first basalar plate immediately caudad of the dorsal attachment of the sternal pronator-extensor of the wing, and inserted into the apodeme on which the ventral end of the first pleural abductor of the coxa is attached. It is homologous to the muscle called the second pronator-extensor of the wing in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

13) Second coxal pronator-extensor of the fore wing (126).

The second coxal pronator-extensor of the wing is resemblant to the preceding and inserted ventrally into the common apodeme with the first one, but it is originated on the second basalar plate immediately caudad of the first basalar. It may correspond to the muscle designated as the second pronator-extensor of the wing in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

14) Depressor-extensor of the fore wing (127).

This muscle is a flattened bundle of fibers, some of which are originated on the subalar plate, the others on the dorsal portion of the epimeron, and all the fibers are inserted into the apodeme formed on the caudo-lateral basal rim of the coxa. It may correspond to the musculus lateralis sextus mesothoracis by VOSS (1905) and the sixth lateral muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, and the depressor-extensor of the fore wing in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

15) Pleural adductor of the coxa (129).

This muscle is strong, laterally flattened, originated on the pleural arm, and inserted into the basal ventral rim of the coxa. It is homologous to the muscle (91) of the prothorax.

### 1. Body Trochanteric Muscles

These muscles belong to the depressors of the trochanter. In the mesothorax of *Gryllus* the depressor of the trochanter is three-branched, the first being originated on the mesonotum, the second on the

pleuron, and the third on the furcal arm (by VOSS 1905 and DU PORTE 1920), while in *Dissosteira* (by SNODGRASS 1929) the bundle originated on the pleuron is wanting, but two bundles originated on the mesonotum are present. In the present species there are three bundles, one is originated on the pleuron and the two others on the lateral portion of the scutum, while the sternal bundle is wanting.

1) Tergal depressor of the trochanter (130).

This is composed of two bundles which are not strong, somewhat flattened laterally and more or less fan-shaped. These bundles are originated on the lateral sides of the origin of the first tergal remotor of the coxa, the first bundle (130a) anteriorly and the second (130b) posteriorly, and inserted into the common apodeme projected from the ventral basal rim of the trochanter. These bundles may correspond to the muscle designated as the musculus dorsoventralis quintus mesothoracis by VOSS (1905) and the fifth dorsoventral by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, the muscolo dorsoventrale quinto by BERLESE (1909), and the depressor of the trochanter in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

2) Pleural depressor of the trochanter (131).

This muscle is somewhat strong, laterally flattened, somewhat fan-shaped, originated on the second basalar plate and inserted into the common apodeme on which the preceding bundles are attached at the trochanteric base. It may be homologous to the muscle called the musculus lateralis tertius mesothoracis by VOSS (1905) and the third lateral muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, the muscolo laterale terzo del mesotorace by BERLESE (1909), and the depressor of the trochanter in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

In the present species there are wanting the muscles possibly corresponding to the following ones: Musculus dorsoventralis septimus mesothoracis (seventh dorsoventral muscle), m. lateralis primus mesothoracis (first lateral muscle), m. lateralis secundus mesothoracis (second lateral muscle), m. lateralis quintus mesothoracis b-e (fifth lateral muscle), m. lateralis undecimus mesothoracis (eleventh lateral muscle),

m. pedalis tertius mesothoracis (third pedal muscle), m. pedalis quartus mesothoracis (fourth pedal muscle), and m. pedalis quintus mesothoracis (fifth pedal muscle) in *Gryllus domesticus* (VOSS 1905) and *G. assimilis* (DU PORTE 1920) (in the above terms ones closed in brackets are used by DU PORTE, and others by VOSS); musculus lateralis septimus decimus mesothoracis, m. pedalis sextus mesothoracis, and m. adductor lateralis mesothoracis in *G. domesticus* (VOSS 1905); third and fourth dorsoventral muscle in *G. assimilis* (DU PORTE 1920), first adductor of coxa, first and second tergo-sternal muscles in *Dissosteira carolina* (SNODGRASS 1929).

## C. MUSCLES OF THE METATHORAX

### a. Posterior Muscle of the Ovary (132)

This is a slender and long muscle originated on the posterior end of the prescutum near the median line, diverging at the anterior segments of the abdomen, and inserted into the terminal filaments of the ovarioles except ones attached to the anterior muscle of the ovary (58).

### b. Dorsal Muscles

#### 1) First internal dorsal muscle (133).

This muscle is very slender, arising on the medio-lateral portion of the posterior margin of the prescutum, and inserted into the third phragma of the thorax formed between the metatergum and the first abdominal tergum near the median line. It is corresponding to the muscle (93) of the mesothorax.

#### 2) Second internal dorsal muscle (134).

This muscle is a very slender bundle of fibers arising on the lateral portion of the posterior end of the prescutum at the latero-cephalic side of the anterior attachment of the first internal dorsal (133), and inserted into the lateral portion of an indistinct border between the metathoracic and first abdominal terga. It is homologous to the muscle (94) in the mesothorax.

3) First external dorsal muscle (135).

This is a very slender and almost sclerotized muscle arising on the latero-anterior corner of the metascutellum, and inserted into the phragma on which the first internal dorsal muscle is attached at the outer side of the latter muscle. It is homologous to the muscle (95) in the mesothorax.

4) Second external dorsal muscle (136).

The muscle is a slender and short bundle of fibers originated on the latero-anterior corner of the metascutellum immediately laterad of the anterior attachment of the first external dorsal (135), and inserted into the same portion of the posterior attachment of the preceding. It is homologous to the muscle (96) in the mesothorax.

c. Dorsal Transverse Muscle (137)

This is a short flattened and strong muscle arising on the lateral margin of the metascutellum, and inserted into the ventral side of the heart. It is homologous to the muscle (97) of the mesothorax.

d. Ventral Muscles

1) Internal ventral muscle (138).

The muscle is a fan-shaped strong bundle of fibers arising on the anterior end of the presternite of the metasternum near the median line, and inserted into the anterior arm of the metafurca.

2) External ventral muscle (139).

This is a muscle resembling the preceding one but shorter, more external and oblique than the latter, originated on the posterior end of the presternite, and inserted into the furcal arm on which the internal ventral muscle is attached.

e. Ventral Transverse Muscle (140)

The muscle is slender, arising on the medio-basal portion of the furcal stem at one side, and inserted into the corresponding portion of that of the other side.

### f. Tergo-Sternal Muscles

#### 1) Intersegmental tergo-furcal muscle (141).

This muscle is composed of a strong and flattened bundle of fibers originated on the lateral portion of the boundary between the metathoracic and first abdominal terga immediately dorsad of the posterior attachment of the second dorsal muscle of the metathorax, and inserted into a small caudal branch of the lateral arm of the furca. It is homologous to the muscle (100) of the mesothorax.

#### 2) Intersegmental tergo-sternal muscle (142).

This intersegmental tergo-sternal is a slender muscle stretched vertically between the lateral ends of the sternal and tergal boundaries between the meso- and metathorax.

### g. Tergo-Pleural Muscles

#### 1) First tergo-basalar muscle (143).

This muscle is very strong, laterally flattened, fan-shaped, originated on the lateral portion of the metascutum at the anterior side of the anterior notal wing process, and inserted into the cephalic thickened margin of the basalar plate. It may correspond to the muscle called *musculus lateralis octavus metathoracis* in *Gryllus* by Voss (1905).

#### 2) Second tergo-basalar muscle (144).

The second tergo-basalar muscle is somewhat strong, flattened, fan-shaped, originated on the lateral portion of the metascutum immediately cephalad of the anterior notal wing process, and inserted into the ventral portion of the basalar plate. It may be homologous to the muscle called *musculus lateralis decimus metathoracis* in *Gryllus* by Voss (1905).

#### 3) Third tergo-basalar muscle (145).

This is a slender muscle arising dorsally on the anterior notal wing process immediately caudo-laterad of the preceding, and inserted

into the caudal margin of the basalar sclerite near the dorsal end. It may correspond to the muscle called *musculus lateralis undecimus metathoracis* by VOSS (1905) and eleventh lateral muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*.

4) Posterior tergo-pleural muscle (146).

This muscle is a short and stout bundle of fibers, which is flattened laterally, fan-shaped, originated on the lateral ridge of the scutum immediately cephalad of the posterior wing notal process at the lateral end of the secondary suture which subdivides the caudal portion of the scutum, and inserted into the pleural ridge at the ventral side of the subalare. It is homologous to the muscle (105) of the mesothorax.

**h. Pleural Muscle (147)**

The pleural muscle is a group of short small bundles of fibers arising on the dorsal portion of the epimeron, and inserted into the pleural membrane along the lateral margin of the tergum, but some of the anterior fibers into the ventral margin of the subalar plate.

**i. Sterno-Pleural Muscles**

1) Intersegmental sternal pronator-extensor of the hind wing (148).

This muscle is a somewhat strong bundle of fibers originated on the anterior corner of the metasternum and inserted into the cephalic end of the basalar plate immediately dorsad of the ventral attachment of the first tergo-basalar muscle.

2) First sternal pronator-extensor of the hing wing (149).

This muscle is a stout but short and fan-shaped bundle, the origin occurs on the lateral portion of the metasternum caudad of the ventral attachment of the preceding, and the insertion on the ventral marginal thickening of the basalar sclerite immediately ventrad of the ventral attachment of the second tergo-basalar muscle.

3) Second sternal pronator-extensor of the hind wing (150).

The muscle is a slender loose bundle of fibers arising on the

lateral portion of the sternum at the lateral side of the furca, and inserted into the ventral margin of the basalar plate immediately caudad of the dorsal attachment of the preceding. It may correspond to the muscle called *musculus lateralis 4-decimus mesothoracis* by VOSS (1905) and fourteenth lateral muscle by DU PORTE (1920) in the mesothorax of *Gryllus*, *muscolo laterale decimoquarto* by BERLESE (1909), and first pronator-extensor of the hind wing in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

4) Anterior sterno-pleural muscle (151).

This muscle is composed of a group of vertical short fine bundles of fibers arranged in a row, originated on the lateral margin of the metasternum and inserted into the ventral portion of the episternum. It is homologous to the muscles (107-109) of the mesothorax.

5) Furca-entopleural muscle (152).

This is a strong and flattened muscle originated on the cephalic small process of the lateral arm of the furca and inserted into the process of the pleural ridge. It is homologous to the muscle (111) of the mesothorax.

#### j. Special Wing Muscles

1) First pleuro-alar muscle or flexor of the wing (153).

This muscle is composed of short but stout bundle of fibers originated on the episternum downward the pleural wing process, and inserted into the third axillary by a flexible strong tendon. It is homologous to the muscle (114) of the mesothorax.

2) Second pleuro-alar muscle (154).

This muscle is also short as the preceding, but conspicuously slender, originated on the pleural ridge at the ventral side of the subalar plate, and inserted into the anterior portion of the fourth axillary. It is homologous to the muscle (115) in the mesothorax.

#### k. Coxal Muscles and Wing Muscles Derived from the Coxal Muscles

1) Tergal promotor of the coxa (155)!



The tergal promotor is a very slender muscle originated on the lateral portion of the scutum and inserted obliquely into the trochantin. It is homologous to the muscles (81 and 116) in the pro- and mesothoracic segments.

2) First tergal remotor of the coxa (156).

This is a long muscle arising on the lateral portion of the middle of the scutum, and inserted into the apodeme projected on the basal caudal rim of the coxa. It corresponds to the muscles (83 and 117) in the pro- and mesothorax.

3) Second tergal remotor of the coxa (157).

This muscle is long, strong, originated on the latero-caudal portion of the scutum immediately caudad of the secondary suture which subdivides the scutum, and inserted into the apodeme immediately laterad of the ventral attachment of the preceding. It is homologous to the muscles (84 and 116) in the pro- and mesothorax.

4) Anterior sternal promotor or rotator of the coxa (158).

This muscle is strong, flattened, originated on the lateral base of the lateral arm of the furca, and inserted into the cephalo-ventral portion of the basal coxal rim. It is homologous to the muscles (86 and 121) in the pro- and mesothoracic segments.

5) First posterior sternal remotor or rotator of the coxa (159).

This muscle is also strong, flattened, originated on the lateral portion of the metasternellum at the caudo-lateral side of the furca, and inserted into the apodeme projected on the basal caudo-lateral coxal rim as in the mesothorax. It is homologous to the muscles (87 and 121) in the pro- and mesothoracic segments.

6) Second posterior sternal remotor of the coxa (165).

This muscle is more or less strong, flattened, originated on the latero-caudal basal portion of the furca, and inserted into the apodeme on which the first sternal remotor attaches. It is homologous to the muscles (87 and 128) in the pro- and mesothoracic segments.

7) First pleural abductor of the coxa.

In the metathorax the muscle corresponding to the first pleural abductor of the mesothorax is wanting.

8) Second pleural abductor of the coxa (160).

The second pleural abductor is a strong muscle which is flattened laterally, fan-shaped, originated on the ventral portion of the episternum, and inserted into the apodeme projected at the cephalo-lateral portion of the basal coxal rim. It is homologous to the muscle (123) in the mesothorax.

9) Third pleural abductor of the coxa (161).

This muscle is strong, flattened laterally and fan-shaped. It is originated on the episternum at the cephalic side of the process of the pleural ridge, and inserted into the cephalo-lateral portion of the basal coxal rim just cephalad of the coxal process. It is homologous to the muscle (124) in the mesothorax.

10) First coxal pronator-extensor of the hind wing (162).

This muscle is a strong and flattened bundle of fibers originated on the cephalic portion of the dorsal marginal thickening of the basalar plate, and inserted into the apodeme projected on the basal cephalo-lateral rim of the coxa. It is homologous to the muscle (125) of the mesothorax.

11) Second coxal pronator-extensor of the hind wing (163).

The muscle is resemblant to the first coxal pronator-extensor, originated on the caudal margin of the middle portion of the basalar plate, and inserted into the apodeme projected on the lateral side of the apodeme on which the latter muscle is attached. It is homologous to the muscle (126) in the mesothorax.

12) Depressor-extensor of the hind wing (164).

The muscle is strong, very often divided into two bundles (a, b), originated dorsally on the inner disc of the subalar plate, and inserted ventrally into the apodeme projected on the caudo-lateral

rim of the coxal base. It is homologous to the muscle (127) in the mesothorax.

13) Pleural adductor of the coxa (166).

This muscle is a very strong and flattened bundle of fibers originated on the epimeron immediately caudad of the process of the pleural ridge, and inserted into the caudo-ventral rim of the coxal base. It is homologous to the muscle (129) in the mesothorax.

### 1. Body Trochanteric Muscles

There are found two body trochanteric muscles in the metathorax, one arising on the tergum, the other on the sternum. This type is similar to that in the mesothorax of *Dissosteira* by SNODGRASS (1929).

1) Tergal depressor of the trochanter (167).

This muscle is somewhat strong, originated on the lateral portion of the scutum at the immediately caudal side of the dorsal attachment of the tergal promotor of the coxa, and inserted into the apodeme projected on the basal ventral rim of the trochanter. It is corresponding to the muscle (130) in the mesothorax.

2) Sternal depressor of the trochanter (168).

This muscle is slender, originated on the apical caudal portion of the lateral arm of the furca, and inserted into the common apodeme on which the preceding attaches. It may correspond to the muscle called *musculus pedalis quartus metathoracis* by VOSS (1905) and fourth pedal muscle by DU PORTE (1920) in *Gryllus*, *muscolo pedale quarto* by BERLESE (1909), and depressor of the trochanter by SNODGRASS (1929) in *Dissosteira*.

In the metathorax of the present species there are wanting the muscles corresponding to the following ones: *Musculus dorsoventralis tertius metathoracis* (third dorsoventral), *m. dorsoventral quartus metathoracis* (fourth dorsoventral), *m. dorsoventral sextus metathoracis* (sixth dorsoventral), *m. lateralis primus metathoracis* (first lateral), *m.*

lateralis secundus metathoracis (second lateral), m. lateralis tertius metathoracis (third lateral), m. lateralis quintus metathoracis (fifth lateral), m. pedalis tertius metathoracis (third pedal), and m. pedalis quintus metathoracis (fifth pedal), found in *Gryllus domesticus* by VOSS (1905) and in *G. assimilis* by DU PORTE (1920) (in the above terms ones closed in brackets are used by DU PORTE, and the others by VOSS); and tergo-sternal muscles (muscolo tergo sternale primo by BERLESE) found in *Dissosteira* by SNODGRASS (1929) and in *Acridium* by BERLESE (1909).

## IX. COMPARISON WITH THE MUSCLES OF EACH SEGMENT OF THE THORAX

The musculatures of thoracic segments are compared with one another in the following table, in which "×" shows the presence of the muscle and "○" the absence of the same:

Names of Muscles.	Names of thoracic segments.	Neck and Prothorax.	Mesothorax.	Metathorax.
<b>Protractors of Crop and Gasteric Caecum</b>		×	○	○
<b>Muscles of Ovary</b> . . . . .		×	○	×
<b>Muscles of Thoracic Gland</b> . . . . .				
Suspensorium of thoracic gland. . . . .		×	○	○
Dorsal rotator of orifice of thoracic gland.		×	○	○
Anterior rotator of orifice of thoracic gland.		×	○	○
Posterior rotator of orifice of thoracic gland.		×	○	○
<b>Dorsal Muscles</b>				
First internal dorsal. . . . .	}	×	×	×
First external dorsal. . . . .			×	×
Second internal dorsal. . . . .		×	×	×
Second external dorsal. . . . .		×	×	×
Third internal dorsal. . . . .		×	○	○
Third external dorsal. . . . .		×	○	○
Protergal muscle of head. . . . .		×	○	○
Cervical dorsal. . . . .		×	○	○

Names of muscles.	Names of thoracic segments.	Neck and Prothorax.	Mesothorax.	Metathorax.
<b>Dorsal Transverse Muscles</b> . . . . .		○	×	×
<b>Ventral Muscles</b>				
First internal ventral. . . . .		×	×	×
First external ventral. . . . .		×	○	×
<b>Ventral Transverse Muscle</b> . . . . .		○	×	×
<b>Tergo-Sternal Muscles</b>				
Intersegmental tergo-furcal. . . . .		○	×	×
First intersegmental tergo-sternal. . . . .		○	×	×
Second intersegmental tergo-sternal. . . . .		○	×	○
Third intersegmental tergo-sternal. . . . .		○	×	○
<b>Tergo-Pleural Muscles</b>				
First anterior tergo-pleural. . . . .		×	○	○
Second anterior tergo-pleural. . . . .		×	×	○
Posterior tergo-pleural. . . . .		○	×	×
First tergo-basalar. . . . .		○	○	×
Second tergo-basalar. . . . .		○	○	×
Third tergo-basalar. . . . .		○	○	×
First cephalic muscle of cervical sclerite.		×	○	○
Second cephalic muscle of cervical sclerite.		×	○	○
<b>Pleural Muscles</b> . . . . .		○	×	×
<b>Sterno-Pleural Muscles</b>				
Intersegmental sterno-pleural. . . . .		×	○	○
First anterior sterno-pleural. . . . .		○	×	}
Second anterior sterno-pleural. . . . .		○	×	
Third anterior sterno-pleural. . . . .		○	×	
Intersegmental sternal pronator- extensor of wing. }		○	○	×
First sternal pronator-extensor of wing. .		○	○	×
Second sternal pronator-extensor of wing.		○	○	×
Furca-entopleural. . . . .		○	×	×
<b>Muscles of Spiracle</b>				
Anterior occlusor. . . . .		×	×	○
Posterior occlusor. . . . .		×	×	○
<b>Special Wing Muscles</b>				
First pleuro-alar. . . . .		○	×	×
Second pleuro-alar. . . . .		○	×	×
<b>Coxal Muscles and Wing Muscles</b>				
Derived from the Coxal Muscles				
Tergal promotor of coxa. . . . .		×	×	×

Names of muscles.	Names of thoracic segments.	Neck and Prothorax.	Mesothorax.	Metathorax.
Pleural promoter of coxa. . . . .		×	○	○
First tergal remotor of coxa. . . . .		×	×	×
Second tergal remotor of coxa. . . . .		×	×	×
Third tergal remotor of coxa. . . . .		×	○	○
Sterno-subcoxal promoter of coxa. . . .		○	×	○
Anterior sternal promoter of coxa. . . .		×	×	×
First posterior sternal remotor of coxa. .	}	×	×	×
Second posterier sternal remotor of coxa.			×	/
Tergal abductor of coxa. . . . .		×	○	○
First pleural abductor of coxa. . . . .	}	×	×	○
Second pleural abductor of coxa. . . . .			×	×
Third pleural abductor of coxa. . . . .			×	×
First coxal pronator-extensor of wing. .		○	×	×
Second coxal pronator-extensor of wing.		○	×	×
Depressor-extensor of wing. . . . .		○	×	×
Sternal adductor of coxa. . . . .		×	○	○
Pleural adductor of coxa. . . . .		×	×	×
<b>Body Trochanteric Muscles</b>				
Tergal depressor of trochanter. . . . .		○	×	×
Pleural depressor of trochanter. . . . .		×	×	○
Sternal depressor of trochanter. . . . .		○	○	×

## X. SUMMARY OF THE THORACIC MUSCULATURE

1) The dorsal muscles are composed of three pairs in the prothorax, of two pairs in each pterothoracic segment, and each pair being divided into two layers, the internal and the external; these are most developed in the prothorax, somewhat lesser in the mesothorax, and most slender in the metathorax, moreover the first external dorsal of the latter is entirely transfered into the tendinous strand.

2) The dorsal transverse muscle is present in the pterothoracic segment, and originated on each lateral portion of the scutellum.

- 3) In each of the prothorax and the metathorax there are one pair of each of the internal and external ventral muscles which are well developed, while in the mesothorax these muscles are almost degenerated, remaining as anterior pieces.
- 4) The ventral transverse muscle is present in each pterothoracic segment.
- 5) The tergo-sternal muscles are not developed except the intersegmental regions, while the tergo-pleural and sterno-pleural muscles are well developed.
- 6) The presence of the sterno-subcoxal promotor of the coxa in the mesothorax, and of the tergal abductor of the coxa in the prothorax is characteristic.
- 7) On the thoracic gland there are six muscles, the three muscles arising on the neck sclerite and attached to the margin of the orifice of the glandular sac, the slender muscle arising on the pronotum and attached on the glandular sac, and the longitudinal and circular muscles surrounding the glandular sac.
- 8) On the thoracic region two pairs of muscles of the ovaries arise, one on the lateral portions of the anterior transverse ridge of the protergum with the protractors of the crop and gastric caecum, and the other on the posterior margin of the metaprepectum near the median line.

## **XI. LEG MUSCLES ARISING ON THE LEG SEGMENTS**

(Figs. 14, 15, 16, 17, 18 and 19)

### **A. LEG MUSCLES ARISING ON THE LEG SEGMENTS IN THE PROTHORAX**

- 1) Levators of the trochanter.

The trochanteric levators are called the *fléchisseur du trochanter* by STRAUS-DÜRKHEIM (1828), the *Beuger des Trochanters* innerhalb der Hüfte by BURMEISTER (1832), the *flexor of the femur* by MIALL

and DENNY (1886), the levator trochanteris by BÖRNER (1902), the musculus elevator trochanteris by VOSS (1905), the abductore del trochantere by BERLESE (1909), the muscoli flexores trochanteris by BAUER (1910) and SPEYER (1922), the musculus coxalis by WEBER (1929), the levator of the trochanter by SNODGRASS (1929), and Coxalmuskeln by SOLF (1931).

In the present species the muscles are more numerous than in the many other insects, and regularly comprising six bundles as follows:

i. First levator of the trochanter (169).

This muscle is a slender bundle of fibers arising on the cephalic base of the coxa at the ventral side of the anterior coxal ridge, and inserted into the cephalo-dorsal basal rim of the trochanter.

ii. Second levator of the trochanter (170).

The second levator is a slender muscle resembling the former, arising on the cephalo-dorsal base of the coxa at the dorsal side of anterior coxal ridge, and inserted into the portion on which the first levator is attached.

iii. Third levator of the trochanter (171).

The third levator is a fan-shaped muscle originated on the dorsal wall of the coxa, and inserted into the basal portion of the apodeme on which the following levator is attached.

iv. Fourth levator of the trochanter (172).

The fourth levator is a strong and somewhat fan-shaped muscle arising on the caudo-dorsal base of the coxa at the portion on which the posterior sternal remotor of the coxa is attached, and inserted into the apodeme formed on the dorso-basal rim of the trochanter at the caudal side of the distal attachment of the first and second levators.

v. Fifth levator of the trochanter (173).

The fifth levator is a strong and more or less fan-shaped muscle originated on the posterior coxal ridge, and inserted into the apodeme formed on the caudo-dorsal base of the trochanter.



vi. Sixth levator of the trochanter (174).

The sixth levator is a long and strong muscle which is somewhat fan-shaped, arising on the basicostal ridge of the posterior base of the coxa at the ventral side of the posterior coxal ridge, and inserted into a small apodeme formed on the dorso-basal rim of the trochanter between the apodemes of the fourth and fifth levators.

2) Depressors of the trochanter.

The depressors of the trochanter of the prothorax are composed of three bundles else the muscle originated on the body. These muscles correspond to the extenseur du trochanter by STRAUS-DÜCKHEIM (1828), the extensor trochanteris by BURMEISTER (1832) and LUKS (1883), the extensor of the femur by MIALL and DENNY (1886) and MILLER (1930), the depressor trochanteris by BÖRNER (1902), the musculus depressor trochanteris by VOSS (1905), the musculus extensor trochanteris by BAUER (1910) and SPEYER (1922), the musculus coxalis by WEBER (1929), the Coxalmuskeln by SOLF (1931), and the depressors of the trochanter by SNODGRASS (1929) and MALOUF (1933).

i. First depressor of the trochanter (175).

This is composed of a strong and somewhat fan-shaped bundle of fibers arising on the cephalo-ventral base of the prothoracic coxa immediately distad of the portion articulated with the trochantin, and inserted into the cephalic base of a common large apodeme of the depressors of the trochanter.

ii. Second depressor of the trochanter (176).

The second depressor is a muscle arising on the ventral base of the coxa, inserted into the ventral base of a common apodeme of the depressors, and very often subdivided into two slender bundles.

iii. Third depressor of the trochanter (177).

The third depressor is a large fan-shaped muscle arising on the posterior wall of the coxa immediately ventrad of the posterior coxal ridge, and inserted into the branch of a common apodeme of the depressors.

## 3) Reductor of the femur (178).

The reductor is a very small muscle arising on the dorsal wall near the distal end, and inserted into the proximal face of the dorsal projection of the femoral basal thickening. It corresponds to the rotator femoris by DAHL (1884), the musculus remotor femoris by BÖRNER (1902), the femoro trocantale by BERLESE (1909), the musculus rotator femoris by BAUER (1910), SPEYER (1922) and WEBER (1929), the reductor of the femur by SNODGRASS (1929), and the remotor of the femur by MALOUF (1933).

## 4) Anterior levator of the tibia (179).

SNODGRASS (1929) describes the tendinous strand which arises on the anterior angle of the tibial base and extending proximally for a short distance against the anterior wall of the distal part of the femur in the hind leg of *Dissosteira*. Such a strand is found in each femur of the present species, but it is exceedingly longer and firmly attached on the posterior face of the projection of the basal thickening at the dorsal base of the femur.

## 5) Posterior levator of the tibia (180 a-180 b).

This muscle is composed of two bundles, one (180 a) is the main muscle which is very long, arising on almost the whole length of the dorsal wall of the femur and inserted into a very long apodeme formed on the dorsal base of the tibia at the posterior side of the distal attachment of the former, and the other (180 b) consists of a small group of fibers arising on the distal wall of the posterior side of the femur and inserted into the distal portion of the apodeme on which the latter bundle is attached. It corresponds to the extenseur de la jambe by STRAUS-DÜRKHEIM (1828), the strecker dy BURMEISTER (1832), the extensor of the tibia by MIALl and DENNY (1886) and MILLER (1933), the abduuttore della tibia by BERLESE (1909), the musculus extensor tibiae by BAUER (1910), SPEYER (1922), WEBER (1929) and SOLF (1931), the posterior levator of the tibia by SNODGRASS (1929), and the levator of the tibia by MALOUF (1933).

6) Depressor of the tibia (181 a-181 b).

This muscle is huge, and occupies a great part of the femoral cavity. It consists of two main groups of fibers, one (181 a) is composed of a number of bundles (about twenty, and of which the proximal bundle is the longest of all) which arise on the anterior wall of the femur in a longitudinal row from the proximal to the distal and are attached to a long apodeme formed by the invagination on the ventral base of the tibia, and the other (181 b) is resemblant to the former, but the component bundles more numerous (about twenty-five), arising on the posterior wall of the femur and inserted into the common depressor-apodeme. It corresponds to the *fléchisseur de la jambe* by STRAUS-DÜRKHEIM (1828), the *Beuger* by BURMEISTER (1832), the *flexor of the tibia* by MIALl and DENNY (1886) and MILLER (1933), the *adduttore della tibia* by BERLESE (1909), the *musculus flexor tibiae* by BAUER (1910), SPEYER (1922), WEBER (1929) and SOLF (1931), the *depressor of the tibia* by SNODGRASS (1929) and MALOUF (1933).

7) Levators of the tarsus.

In the present species there are two levators of the tarsus, which are distinctly separated.

i. Anterior levator of the tarsus (182 a-182 b).

This muscle is composed of two branches, one (182 a) arises on the dorsal portion of the distal of the tibia and is inserted into an apodeme formed on the dorsal base of the first tarsal segment, the other (182 b) is very small, arising on the dorsal extremity of the tibia and inserted into the base of a common apodeme of the anterior levator bundles. It may correspond to the *fléchisseur du tarse* by STRAUS-DÜRKHEIM (1828), the *Beuger des Fusses* by BURMEISTER (1832), the *musculus extensor tarsi* by WEBER (1929), the *levator of the tarsus* by SNODGRASS (1929), the *musculus extensor tarsalis* by SOLF (1931), and the *extensor of the tarsus* by MILLER (1933).

ii. Posterior levator of the tarsus (183).

The posterior levator is a small feather-like muscle arising on the anterior wall of the distal portion of the tibia, and inserted into an apodeme formed on the dorsal base of the first tarsal segment at the posterior side of the preceding.

8) Depressor of the tarsus (184).

This muscle is resemblant to the preceding one in shape, but much larger, arising on the cephalo-ventral wall of the distal portion of the tibia, and inserted into an apodeme formed on the ventral base of the first tarsal segment. It corresponds to the retractor of the tarsus by MIALL and DENNY (1886), the adduttore del tarso by BERLESE (1909), the musculus flexor tarsalis by BAUER (1910) and SPEYER (1922), the depressor of the tarsus by SNODGRASS (1929) and MALOUF (1933), the musculus flexor tarsi by WEBER (1929), and the musculus flexor tarsalis by SOLF (1931).

9) Depressor of the pretarsus or retractor of the claws (185 a-185 e).

This muscle is composed of five bundles of fibers, one (185 a) arises on the thickening at the posterior base of the femur immediately dorsad of the proximal extremity of the posterior fiber-group of the femoral depressor, and is inserted into the end of the slender long apodeme prolonged, through the tarsal and tibial segments, from the unguitractor plate at the base of the claws, the second and third (185 b and 185 c) on the entral wall of the tibia, the fourth and fifth (185 d and 185 e) on the ventral wall of the distal half of the same, and the last four bundles are inserted into the common depressor apodeme of the pretarsus. It corresponds to the fléchisseur des crochets by STRAUS-DÜRKHEIM (1828), the flexor unguium by BURMEISTER (1832), the flexor of the tarsus by MIALL and DENNY (1886), the lungo flessore delle ungue for the femoral branch and suoi fasci distali for the tibial branch by BERLESE (1909), the musculus flexor unguium by BAUER (1910), SPEYER (1922) and SOLF (1931), the depressor of the pretarsus by SNODGRASS (1929) and MALOUF (1933), the musculus flexor pretarsi superior for the femoral branch and inferior for the tibial branch by WEBER (1929), and the extensor of the claw by MILLER (1933).

10) Transverse muscles of the tarsal segments (186 a-186 e).

On the ventral base of each tarsal segment in the present species there is found a small transverse muscle crossing over the depressor tendon of the pretarsus. The writer considers that this muscle serves for giving the regularity to the tarsal movement caused by the contraction of the depressor of the pretarsus.

B. LEG MUSCLES ARISING ON THE LEG  
SEGMENTS IN THE MESOTHORAX

1) Levators of the trochanter (187-192).

These muscles are entirely similar to those in the prothorax.

2) Depressors of the trochanter (193-195).

These muscles are also resemblant to those of the fore leg, but the first muscle (193) is stouter.

3) Reductor of the femur (196).

The muscle is resemblant to that of the fore leg.

4) Anterior levator of the tibia (197).

The muscle is similar to that of the fore leg.

5) Posterior levator of the tibia (198 a-198 b).

The muscle is stouter than that of the fore leg, and its proximal end extending to the dorsal base of the femur.

6) Depressor of the tibia (199 a-199 b).

The muscle resembles that of the fore leg, but the component bundles of the muscle being fewer than the latter, about eighteen in the anterior group of the bundles, and about twenty in the posterior group of the same.

7) Anterior and posterior levators and depressor of the tarsus (200 a, 200 b, 201 and 202).

These are similar to those of the fore leg.

8) Depressor of the pretarsus (203 a-203 e).

The muscle is in resemblance to that of the fore leg, but each of the four tibial branches being composed of loose bundles.

- 9) Transverse muscles of the tarsal segments (204 a-204 e).

These muscles are similar to those of the fore leg.

### C. LEG MUSCLES ARISING ON THE LEG SEGMENTS IN THE METATHORAX

- 1) Levators of the trochanter (205-210).

Muscles resembling those of the fore and middle legs.

- 2) Depressors of the trochanter (211-213).

Muscles also in resemblance to those of the fore and middle legs, but the third bundle (213) not so much fan-shaped as in the latter leg.

- 3) Reductor of the femur (214).

A muscle being resemblant to those of the fore and middle legs.

- 4) Anterior levator of the tibia (215).

A muscle being similar to those of the fore and middle legs.

- 5) Posterior levator of the tibia (216 a-216 b).

A muscle resembling that of the middle leg except the distal extremity of the origin not extending to the dorsal distal portion of the femur.

- 6) Depressor of the tibia (217 a-217 b).

A muscle resembling those of the fore and middle legs, but the component bundles of the muscles being more numerous in the anterior group of the bundles (217 a) and counted about twenty three, while those in the posterior group of the same (217 b) much fewer and countable about fourteen.

- 7) Anterior and posterior levators (218 a, 218 b, 219), the depressor of the tarsus (220), the depressor of the pretarsus (221 a-221 e), and the transverse muscles of the tarsal segment (222 a-222 e).

These muscles are resemblant to those of the fore leg.

## XII. COMPARISON WITH LEG MUSCLES ARISING ON THE LEG SEGMENTS OF SOME OTHER INSECTS

The muscles of the leg segments of the present species are compared with those of the other insects as in the following table :

Names of main muscles.	Names of insects.	Levators of trochanter.	Depressors of trochanter.	Reductors of femur.	Anterior levator of tibia.	Levators of tibia.	Depressors of tibia.	Levators of tarsus.	Depressors of tarsus.	Depressors of pretarsus.		Transverse muscles of tarsal segments.
										Tibial branches.	Femoral branches.	
Present species.	(Ort.)	6	3	1	1	2	2	2	1	1	4	5
<i>Dissosteira</i> , SNODGRASS (1929)	(Ort.)	3	1	1	1	3	2	1	1	1	2	—
<i>Periplaneta</i> , MIALL & DENNY (1836)	(Ort.)	2	1	—	—	1	1	—	1	?	1	1
<i>Decticus</i> , SOLF (1931)	(Ort.)	7	3	—	1	1	1	1	1	1	—	—
<i>Gryllotalpa</i> , SOLF (1931)	(Ort.)			2	—	1	1	1	1	—	—	—
Schema by BERLESE (1909).		2	2	1	—	1	2	—	1	1	1	—
Schema by WEBER (1933).		1	1	1	—	1	1	1	1	2	2	—

As seen in the above table the levators and depressors of the trochanter are more developed than in the other insects, though they are somewhat resemblant to those of *Decticus* (SOLF 1931). The levators of the tibia and tarsus, and the depressor of the pretarsus are also more developed, especially the anterior levator of the tibia is peculiar form as already mentioned. Moreover it is different from the other species that the transverse muscles of the tarsal segments are present in the present species. As far as the writer observed, however, the transverse muscles of the tarsal segments were usually found in many insects which possessed the segmented tarsi, therefore he

assumes that in the insects studied by the above authors these muscles might also have been found by careful observation. The presence of these transverse muscles may not show much significant value on morphology, considering the mechanism of the leg movement, it however seems to be very important, since the arrangement of the muscles (see Plate IV) possibly gives some regularity to the tarsal movement caused by the constriction of the pretarsal depressor.

### **XIII. SUMMARY OF THE LEG MUSCLES ARISING ON THE LEG SEGMENTS**

- 1) The trochanteric muscles in the present species are well developed, the depressors consisting of three strong muscles, and the levators of six muscles.
- 2) The reductor of the femur is reduced very much.
- 3) The presence of the entirely tendinous anterior levator of the tibia in each leg is characteristic.
- 4) The levators of the tarsus are more developed than in the other insects.
- 5) There is a transverse muscle in each segment of the tarsus.

### **XIV. MUSCULATURE OF THE ABDOMEN**

(Figs. 11, 12, 13 and 21)

#### **A. MUSCLES OF THE FIRST SEGMENT**

##### **a. Dorsal Muscles**

The dorsal muscles of many orthopteroid insects are divided into two layers, the internal and the external. The internal layers of fibers are called the longitudinal tergal muscles by MIALl and DENNY (1886), the first dorsal muscles by DU PORTE (1920), the inner dorsal muscles by FORD (1923), and the internal dorsal muscles or muscoli dorsales interni by SNODGRASS (1931), etc. The external layers are called the oblique tergal muscles by MIALl and DENNY (1886), the second



dorsal muscles by DU PORTE (1920), the outer dorsal muscles by FORD (1923), the external dorsal muscles or musculi dorsales externi by SNODGRASS (1931), etc.

1) First internal dorsal muscle (223).

This muscle is a longitudinal flattened bundle of fibers, the longest of all the dorsal muscles in the first abdominal segment, arising on the cephalic portion of the first abdominal tergum far from the caudal attachment of the first dorsal muscle of the metathorax, and inserted into the intersegmental ridge between the first and second tergal segments. It may correspond to a part of the median internal dorsal muscle or musculus dorsalis internus medialis by SNODGRASS (1931).

2) Second internal dorsal muscle (224).

The second internal dorsal is an oblique muscle arising on the lateral side of the anterior portion of the preceding, and inserted into the intersegmental ridge between the first and second segments immediately laterad of the caudal end of the preceding. Somewhat shorter than the first internal dorsal. It may correspond to a part of the median internal dorsal muscle by SNODGRASS (1931).

3) Third internal dorsal muscle (225).

The third internal dorsal muscle is an oblique flattened bundle of fibers originated on the lateral portion of the tergum at the lateral side of the preceding one, and inserted far from the second into the intersegmental ridge on which the two precedings attach. Somewhat shorter than the second internal dorsal muscle. It may correspond to a part of the lateral internal dorsal muscle or musculus dorsalis internus lateralis by SNODGRASS (1931).

4) Fourth internal dorsal muscle (226).

The fourth internal dorsal is a short oblique muscle arising on the lateral marginal portion of the tergum at the latero-caudal side of the origin of the preceding, and inserted into the intersegmental ridge at the lateral side of the preceding. It may correspond to a part of the lateral internal dorsal muscle by SNODGRASS (1931).

## 5) First external dorsal muscle (227).

The first external dorsal muscle is a short and flattened bundle of fibers arising on the tergal wall at the outer side of the first internal dorsal muscle, and inserted into the so-called precosta of the second abdominal segment or posterior narrow portion of the true first abdominal segment at the outer side of the first internal dorsal. It may correspond to the median external dorsal muscle or *musculus dorsalis externus medialis* by SNODGRASS (1931).

## 6) Second external dorsal muscle (228).

The second external dorsal muscle is a short flattened bundle of fibers arising on the tergum at the outer side of the third internal dorsal muscle, and inserted into the so-called precosta of the second abdominal tergum at the outer side of the third internal dorsal. It may correspond to a part of the lateral external dorsal muscle or *musculus dorsalis externus lateralis* by SNODGRASS (1931).

## 7) Third external dorsal muscle (229).

This muscle is a short bundle of fibers stretched on the tergum external the fourth internal dorsal muscle in the same course as the preceding one. It may correspond to a part of the lateral external dorsal muscle by SNODGRASS (1931).

### b. Ventral Muscles

The ventral muscles of many orthopteroid insects are divided into two layers, the internal and external as the dorsal muscles. The internal layers of fibers are called the longitudinal sternal muscles by MIALL and DENNY (1886), the inner sternal muscles by FORD (1923), and the internal ventral muscles or *musculi ventrales interni* by SNODGRASS (1931). The external layers of fibers are called the oblique sternal muscles by MIALL and DENNY (1886), the outer sternal muscles by FORD (1923), and the external ventral muscles or *musculi ventrales externi* by SNODGRASS (1931).

1) First internal ventral muscle (230).

The first internal ventral muscle is a median flattened bundle of fibers originated on the anterior wall of the first abdominal sternum behind the furcal base of the metathorax, extending caudo-laterally, and inserted into the intersegmental ridge between the first and second abdominal sterna. It is corresponding to the median internal ventral muscle or *musculus ventralis internus medialis* by SNODGRASS (1931).

2) Second internal ventral muscle (231).

This muscle is similar to the preceding, but somewhat shorter, entirely adjacent to the lateral side of the preceding. It is corresponding to the lateral internal ventral muscle or *musculus ventralis internus lateralis* by SNODGRASS (1931).

3) First external ventral muscle (232).

The first external ventral muscle is a short bundle of fibers arising on the sternal wall at the outer side of the first internal ventral muscle, and inserted into the posterior portion of the sternum or so-called precosta of the following segment at the outer side of the latter muscle. It is corresponding to the median external ventral muscle or *musculus ventralis externus medialis* by SNODGRASS (1931).

4) Second external ventral muscle (233).

The second external ventral muscle is a short bundle of fibers arising on the cephalic wall of the sternum more laterally than the cephalic portion of the second internal ventral muscle, and inserted into the posterior portion or so-called precosta of the following segment at the outer side of the latter muscle. It is corresponding to the lateral external ventral muscle or *musculus ventralis externus lateralis* by SNODGRASS (1931).

**c. Ventral Transverse Muscles (234)**

This muscle is a slender compact bundle stretched transversely between the anterior corners of the sternum of the first abdominal segment.

#### d. Tergo-Sternal Muscles

##### 1) Anterior intersegmental tergo-sternal muscle (235).

The anterior intersegmental tergo-sternal is a fan-shaped strong muscle arising on the anterior portion of the lateral margin of the first tergum, and inserted into the anterior corner of the first sternum. It is homologous to the intersegmental tergo-sternal muscle of the thoracic segment, and may be corresponding to the tergo-sternal or expiratory muscle by MIALl and DENNY (1886), the musculus dorsoventralis by VOSS (1905), the dorsoventral muscle by DU PORTE (1920), the primary tergo-sternal muscle in some cases by FORD (1923), the oblique intersegmental tergo-sternal muscle by SNODGRASS (1931).

##### 2) Internal tergo-sternal muscle (236).

This muscle is a short fan-shaped bundle of fibers which are originated on the middle portion of the lateral margin of the first tergum, and inserted into the middle portion of the lateral marginal area of the first sternum in a transverse line. It corresponds to the tergo-sternal muscle by MIALl and DENNY (1886), the musculus dorsoventralis by VOSS (1905), the dorsoventral muscle by DU PORTE (1920), the tergo-sternal muscle by FORD (1923), and the lateral internal muscle or musculus lateralis internus by SNODGRASS (1931).

#### e. Tergo-Pleural Muscle (237)

This muscle is a strong and fan-shaped bundle of fibers like the above mentioned but arising on the lateral margin of the tergum at the outer side of the tergo sternal muscles, being inserted into a ridge formed between the pleural region of the metathorax and the first abdominal segment. It corresponds to the musculus lateralis by VOSS (1905), lateral muscle by DU PORTE (1920), and the tergo-pleural muscle by FORD (1923).

#### f. Muscles of the Spiracle

##### 1) Dilator muscle of the spiracle (238).

The dilator is a strong muscle arising on the ridge between the

metathoracic and first abdominal pleura, and inserted into the handle formed by invagination on the ventral portion of the cephalic valve or closing bow (LANDOIS 1867). It corresponds to the dilator as designated by DU PORTE (1920) and SNODGRASS (1931).

2) Occluser of the spiracle (239).

The occluser is a strong muscle arising on the handle of the cephalic valve at the opposite side of the insertion of the preceding, and inserted into the handle formed by invagination on the ventral portion of the caudal valve or closing band (LANDOIS 1867) of the spiracle. It is corresponding to the occluser by DU PORTE (1920), FORD (1923) and SNODGRASS (1931).

## B. MUSCLES OF THE SECOND ABDOMINAL SEGMENT

### a. Dorsal Muscles (240-246)

The internal and external dorsal muscles are resemblant to those of the first abdominal segment, but somewhat smaller and shorter, the second internal (241) more oblique, and the cephalic origins of the third and fourth internals (242 and 243) and the second and third externals (245-246) begin more medially.

### b. Dorsal Transverse Muscle (247)

This muscle is the third bundle on the dorsal diaphragm. It consists of delicate fibers diverging on the dorsal diaphragm in fan-shape, arising on the lateral portion of the tergal intersegmental ridge between the first and second segments, and inserted into the ventro-lateral wall of the heart. It corresponds to the musculus transversi by BURMEISTER (1832), the alary muscle by MIALl and DENNY (1886) and FORD (1923), the Transversalmuskel by BAUER (1910), and the dorsal transverse muscle or musculus transversalis dorsalis by SNODGRASS (1931).

### c. Ventral Muscles

These muscles differ from those of the first abdominal segment in size, form and direction.

1) First internal ventral muscle (248).

This muscle is extremely broad at the cephalic end, more or less oblique, and originated on the sternal wall more laterally than that of the first segment.

2) Second internal ventral muscle (249).

This muscle is broad and shorter than the preceding, and overlapped by the first internal ventral muscle at the cephalo-median portion.

3) First external ventral muscle (250).

This bundle is resemblant to that of the first segment, but broader than the latter.

4) Second external ventral muscle (251).

This muscle is broader than that of the first segment and originated more medially.

#### d. Tergo-Sternal Muscles

1) Anterior intersegmental tergo-sternal muscle (252).

This muscle consists of two bundles, one anterior and small, and the other posterior and larger. Both the bundles arise on the lateral portion of the tergal antecosta and are inserted into the lateral portion of the sternal antecosta at the anterior end of the segment. It is homologous to the muscle (235) of the first abdominal segment.

2) Internal tergo-sternal muscle (253).

This muscle consists of one series of an arrangement of the vertical irregularly shaped bundles of fibers arising on the medio-lateral portion of the tergum and inserted into the lateral portion of the sternum, and the bundles situated on the middle portion are more longer than those on the front and hind ends.

3) Posterior intersegmental tergo-sternal muscle (254).

The posterior intersegmental tergo-sternal is a slender muscle arising on the tergal wall at the posterior side of the caudal extremity

of the preceding, and inserted into the lateral portion of the sternal antecosta or intersegmental ridge between the second and third segments. It is corresponding to the intersegmental tergo-sternal muscle by FORD (1923).

4) External tergo-sternal muscle (255).

This muscle is composed of a number of small bundles of fibers arranged in a row, arising on the tergal wall more laterally than the origin of the internal tergo-sternal, and inserted into the lateral marginal area of the sternum just laterad of the ventral attachment of the latter muscle.

**e. Tergo-Pleural Muscle (256)**

This muscle is also composed of a number of very short bundles of fibers arranged in a row as in the preceding, but the component bundles are uniform, arising on the lateral portion of the tergal wall immediately laterad of the tergal attachment of the preceding, and inserted into the longitudinal middle line of the pleural region.

**f. Muscles of the Spiracle**

In the second abdominal spiracle the dilator muscle is wanting, while the occlusor of the spiracle (257) is similar to that of the first.

**C. MUSCLES OF THE THIRD ABDOMINAL SEGMENT**

**a. Dorsal Muscles**

1) Internal and external dorsal muscles (258-262).

In the third abdominal segment the fourth internal and third external dorsal muscles are wanting. The other muscles are resemblant to the corresponding muscles in the second segment.

**b. Dorsal Transverse Muscle (263)**

This muscle is similar to that of the second abdominal segment.

**c. Ventral Muscles (264-267)**

The ventral muscles are entirely similar to those of the second abdominal segment.

**d. Tergo-Sternal and Tergo-Pleural Muscles (268-272)**

These muscles are nearly resemblant to those of the second abdominal segment.

**e. Muscles of the Spiracle**

In the spiracle of the third abdominal segment there is present only the occlusor as in the second segment. (Not figured).

**D. MUSCLES OF THE FOURTH ABDOMINAL SEGMENT**

**a. Dorsal Muscles and Dorsal Transverse Muscles (274-279)**

These muscles entirely resemble those of the third abdominal segment.

**b. Ventral Muscles (280-283)**

The ventral muscles resemble those of the third abdominal segment, but the first internal (280) narrower, and the origin and insertion of the second internal (281) and external ventrals (282, 283) more or less lateral.

**c. Tergo-Sternal and Tergo-Pleural Muscles (284-288)**

The lateral muscles are also resemblant to those of the third abdominal segment.

**d. Muscle of Spiracle**

There is only the occlusor of the spiracle, and similar to that of the third abdominal segment. (Not figured).

**E. MUSCLES OF THE FIFTH ABDOMINAL SEGMENT  
(290-305)**

All the muscles are nearly resemblant to those of the fourth abdominal segment. (The occlusor of the spiracle not figured).



## F. MUSCLES OF THE SIXTH ABDOMINAL SEGMENT (306-320)

All the muscles are nearly similar to those of the preceding segment, but the anterior ends of the first and second internal ventral muscles (312, 313) are attached more laterally to the sternal wall, and the second muscle somewhat longer than the first. (The oclcluser of the spiracle not figured).

## G. MUSCLES OF THE SEVENTH ABDOMINAL SEGMENT

### a. Dorsal Muscles and Dorsal Transverse Muscle (322-327)

These muscles are almost resemblant to those of the sixth segment, but the first internal dorsal (322) is shorter than in the latter segment.

### b. Dilator of the Anterior Hind Intestine (328)

This muscle is a strong and fan-shaped bundle arising on the lateral portion of the anterior tergal wall immediately caudad of the intersegmental tergo-sternal muscle, branched into two, one being inserted into the dorso-lateral wall of the anterior hind intestine and the other into the ventro-lateral.

### c. Ventral Muscles

#### 1) The internal and external ventral muscles (329-332).

The internal and external muscles are shorter than the corresponding muscles of the preceding abdominal segment. The second internal ventral muscle (330) is longer than the first internal ventral (329).

#### 2) Ventral dilator of the vagina (333).

This is a long muscle arising on the median wall of the sternum at the anterior side of the first internal ventral muscle, passing between the oviducts, and inserted into the lateral portion of the apex of the slender diverticulum formed on the anterior portion of the

vagina. According to FORD (1923) in some orthopteroid insects the ventral muscle are typically inserted into the vagina, therefore the ventral dilator of the vagina of the present species may be also considered as a part of the ventral muscles. It corresponds to the retractor of the vagina by DU PORTE (1920).

**d. Tergo-Sternal and Tergo-Pleural Muscles (334-338)**

All these muscles resemble those in the sixth abdominal segment.

**e. Muscle of the Spiracle**

An occlusor is present, and it is similar to that in the sixth segment. (Not figured).

**H. MUSCLES OF THE EIGHTH ABDOMINAL SEGMENT**

**a. Dorsal Muscles**

- 1) First and second internal dorsal muscles (340, 341).

These dorsals resemble those in the seventh abdominal segment, but the anterior origin of the first one is placed more laterally.

- 2) Third internal dorsal muscle (342).

This muscle is extremely shortened, and its anterior origin is placed on the posterior side of the anterior attachment of the second internal dorsal.

- 3) First external dorsal muscle (343).

This muscle is resemblant to that of the seventh abdominal segment.

- 4) Second external dorsal muscle (344).

The muscle is extremely shortened and more oblique than in the preceding segment.

### **b. Dorsal Transverse Muscle (345)**

The muscle is similar to that of the seventh abdominal segment.

### **c. Ventral Muscles**

The internal and external ventral muscles are obsolete in the adult, but a pair of longitudinal muscles are found in the nymphal stage though the author cannot determine whether they are internal or external. In the nymph these originate in the middle of the vaginal invagination, and are inserted into the median bases of the valvifers of the ninth segment or the posterior bases of the ventral valvulae, while the spermathecal invagination takes place on the more cephalic portion than the caudal attachment of the longitudinal muscle at the median line. Therefore the vaginal and spermathecal invaginations may rather belong to the middle area of the main sternum than to the intersegmental portion between the eighth and the ninth segment, but the evaginations of the ventral valvulae to the posterior part of the eighth sternum.

### **d. Dilator of the Spermatheca (346)**

This dilator is a broad muscle arising on the lateral portion of the sternum near the sternal attachment of the internal tergo-sternal muscle, and inserted into the lateral hard diverticulum. In the nymphal stage it is very slender muscle arising on the same portion as the adult, and inserted into the lateral extremity of the small spermathecal invagination.

### **e. Tergo-Sternal Muscles**

#### **1) Anterior intersegmental tergo-sternal muscle (347).**

This muscle is similar to that in the preceding segment.

#### **2) Dorsal dilator of the vagina (348).**

This muscle consists of two strong and fan-shaped bundles, one is inserted into the cephalo-dorsal wall of the vagina and the other

into the cephalo-ventral wall of the vagina, and both are originated on the lateral portion of the anterior tergal wall immediately caudad of the intersegmental tergo-sternal muscle. In a advanced nymphal stage the dorsal dilator is one-bundled, extremely fan-shaped, and attached to the lateral wall of the small vaginal invagination along the whole length. It is homologous to the internal tergo-sternal muscles.

3) Internal tergo-sternal muscle (349).

This muscle is somewhat resemblant to that of the seventh abdominal segment, but being divided into two groups of bundles of fibers the anterior and the posterior.

4) External tergo-sternal muscle (350).

The external tergo-sternal muscle resembles that of the seventh abdominal segment, but the component bundles are sparsely arranged.

**f. Tergo-Pleural Muscle (351)**

This muscle is similar to that of the seventh abdominal segment.

**g. Muscle of the Spiracle**

In this segment there is also an oclucisor being similar to that of the preceding segment. (Not figured).

**I. MUSCLES OF THE NINTH ABDOMINAL SEGMENT**

**a. Dorsal Muscles and Dorsal Transverse Muscle (353-358)**

These muscles are resemblant to those of the eighth abdominal segment.

**b. Retractor of the Dorsal and Inner valvulae (359)**

This retractor is a short flattend muscle arising on the anterior corner of the ninth sternum, and inserted into a ridge formed between the valvifer and the basal plate of the dorsal and inner valvulae.

### **c. Ventral Dilator of the Intervalvular Pouch (360)**

The dilator is a thinly layered muscle arising on the lateral portion of the sternum along the nearly whole length, and attached on the median portion of the intervalvular pouch.

### **d. Tergo-Sternal Muscles**

#### **1) Anterior intersegmental tergo-sternal muscle (361).**

This muscle is well developed, arising on the lateral portion of the tergal antecosta at the anterior end of the segment, and inserted into the caudo-dorsal wall of the vagina. It may serve for the dilator of the vagina.

#### **2) Dorsal dilator of the intervalvular pouch (362).**

This dilator is a well developed tergo-sternal muscle arising on the anterior lateral wall of the tergum at the immediately caudal side of the tergal attachment of the intersegmental tergo-sternal muscle between the eighth and ninth abdominal segments, and inserted into the cephalic portion of the intervalvular pouch.

#### **3) Internal tergo-sternal muscle (363).**

This muscle is divided into two groups of fibers, the anterior and the posterior, the latter being thickly layered.

#### **4) Posterior intersegmental tergo-sternal muscle (364).**

The muscle is stronger than that in the other abdominal segments.

#### **5) External tergo-sternal muscle (365).**

Component small bundles of the muscle are sparsely arranged.

## **J. MUSCLES OF THE TERMINAL ABDOMINAL SEGMENTS**

### **a. Dorsal Muscles (366)**

In the tenth tergum there are only one pair of the small dorsal lengthwise muscles. Each of these is originated on the middle portion of the medio-lateral of the tenth tergum, and inserted into the latero-anterior corner of the epiproct.

### **b. Dorsal Transverse Muscle (367)**

This is a muscle resembling that in the other abdominal segments, but its median portion does not so broadly diverge because the heart terminates under the anterior tergal portion of the tenth segment.

### **c. Tergo-Sternal Muscles**

- 1) Anterior intersegmental tergo-sternal muscle (368).

This muscle is similar to that in the other abdominal segments.

- 2) Internal tergo-sternal muscle (369).

This muscle is not so much expanded as that in the typical abdominal segment. It is divided into two groups of fibers, the anterior and the posterior, the former being wider and thicker than the latter.

### **d. Cercal Muscles**

- 1) Adductor of the cercus (370).

The adductor is a slender muscle arising on the medio-lateral portion of the tenth tergum, and inserted into the median base of the cercus.

- 2) Depressor of the cercus (371).

This depressor is slender, arising on the tenth tergum more laterally than the tergal origin of the adductor, and inserted into the ventral or posterior base of the cercus. It corresponds to the depressor of the cercus by DU PORTE (1920) and the cercal depreseor by FORD (1923).

### **e. Dilators of the Rectum and the Anus**

- 1) Dorso-lateral dilator of the rectum (378).

The dorso-lateral dilator is composed of very short fibers arising on the medio-lateral portion of the tenth abdominal tergum along the long axis of the segment, and inserted into the dorso-lateral portion of the posterior one-third of the rectum. It is corresponding to a part of the dilators of the rectum by DU PORTE (1920), the muscoli dilatores

recti dorsales by SPEYER (1922), and the dorso-lateral dilator rectal muscle by FORD (1923).

2) Lateral dilator of the rectum (379).

This muscle is strong, subdivided into two bundles, the anterior and the posterior, the anterior bundle (379 a) is short but very stout, arising on the anterior end of the lateral portion of the tenth tergum at the portion same to the origin of the lateral longitudinal rectal muscle (376), diverging and inserted into the lateral portion of the posterior one-third of the rectum, the posterior bundle (379 b) is also short, arising on the middle portion of the lateral tergal wall, diverging and inserted into the lateral portion of the rectum at the posterior side of the anterior bundle. These bundles correspond to a part of the dilators of the rectum by DU PORTE (1920), the muscoli dilatores recti laterales by SPEYER (1922), and the lateral dilator rectal muscle by FORD (1923).

3) Ventro-lateral dilator of the rectum (380).

This muscle is very resemblant to the dorso-lateral dilator of the rectum, but arising on the medio-lateral portion of the tenth abdominal sternum at the opposit side. It corresponds to a part of the dilators of the rectum by DU PORTE (1920), the muscoli dilatores recti laterales by SPEYER (1922), and the ventro-lateral dilator rectal muscle by FORD (1923).

4) Dorsal dilator of the anus (381).

The dilator is a stout but very short muscle arising on the posterior portion of the tenth tergum at the medio-lateral wall, and inserted into the distal dorsal portion of the rectum. It corresponds to the anal dilator muscle by FORD (1923).

5) Lateral dilator of the anus (382).

This muscle is composed of several small bundles of fibers arising on the posterior portion of the tenth lateral tergal wall, and inserted into the posterior lateral extremity of the rectum. It corresponds to the anal dilator muscle by FORD (1923).

6) Ventral dilator of the anus (383).

The ventral dilator of the anus is a very strong muscle arising on the medio-ventral wall of the lobe of the paraproct, and inserted into the ventro-lateral extremity of the rectum. It corresponds to the anal dilator muscle by FORD (1923).

K. INDEPENDENT MUSCLES FROM THE BODY WALL  
ON THE MIDDLE AND HIND INTESTINES

On the middle and hind intestines there are present several muscles which are quite independent from the body wall as describe below in addition to the already mentioned muscles originated on the body wall.

a. Muscles of the Middle Intestine

1) Constrictors or circular muscles of the middle intestine.

The constrictors are very thinly layered muscles, and composed of fine fibers attached transversely on the middle intestine. (Not figured).

2) Longitudinal muscles of the middle intestine (385).

These muscles are long ,very slender, longitudinally arranged on the outermost surface of the middle intestine in parallel, anteriorly arising on the posterior portion of the proventriculus, and posteriorly attached on the region of the intestine into which Malpighian tubes open.

b. Muscles of the Hind Intestine

i. Logitudinal muscles of the hind intestine.

The outermost surface of the hind intestine is lengthwisely divided into six parts of similar width by three pairs of groups of the already mentioned rectal dilators and longitudinal muscles. The longitudinal muscles of the present species may be divided into those of the anterior hind intestine and of the rectum.



- 1) Dorso-lateral longitudinal muscle of the anterior hind intestine (372).

This muscle is a very slender and long bundle of fibers arising on the rectum under the medio-lateral portion of the posterior end of the ninth abdominal tergum, extending forewards along the outor surface of the hind intestine, branched at the cephalic end, and inserted into the anterior dorso-lateral portion of the anterior hind intestine immediately caudad of the bases of the Malpighian tubes.

- 2) Lateral longitudinal muscle of the anterior hind intestine (373).

The lateral longitudinal muscle is similar to the preceding, but its origin and insertion occur at the lateral side of the dorso-lateral longitudinal muscle.

- 3) Ventro-lateral longitudinal muscle of the anterior hind intestine.

This muscle is resemblant to the preceding, but its anterior and posterior ends are attached on the hind intestine at the ventral sides of the anterior and posterior ends of the lateral longitudinal muscle respectively.

- 4) Dorso-lateral longitudinal muscle of the rectum (375).

The longitudinal muscle is a very long and slender bundle of fibers, but shorter than the longitudinal muscles of the anterior hind intestine, arising on the dorso-lateral portion of the rectum under the medio-lateral portion of the posterior end of the ninth abdominal tergum at the posterior end of the dorso-lateral longitudinal muscle of the anterior hind intestine, longitudinally prolonged forewards along the rectal wall at the inner side of the dorso-lateral longitudinal muscle of the anterior hind intestine, and inserted into the anterior dorso-lateral portion of the rectum. It corresponds to a part of the dilator muscle of the rectum by DU PORTE (1920) and the anterior longitudinal rectal muscle by FORD (1923).

- 5) Lateral longitudinal muscle of the rectum (376).

This muscle is a bundle of fibers resembling the preceding dorso-lateral longitudinal (375), but situated on the lateral side of the latter muscle and covered with the lateral longitudinal muscle of the anterior hind intestine.

6) Ventro-lateral longitudinal muscle of the rectum (377).

The muscle is resembled to the two precedings, but longitudinally stretched on the ventro-lateral wall of the rectum at the inner side of the ventro-lateral longitudinal muscle of the anterior hind intestine.

ii. Constrictors or circular muscles of the hind intestine.

1) Constrictors of the rectum.

The constrictors are layered muscles consisting of short fine fibers and stretched transversely or obliquely on the rectum.

2) Constrictors of the anus.

These muscles are resemblant to the preceding, and very thickly surround the posterior end of the alimantal canal.

## XV. COMPARISON WITH THE MUSCLES OF EACH SEGMENT OF THE ABDOMEN

The musculature of each abdominal segment is simply compared with in the foflowing table, in which " × " shows the presence of the muscle, and " ○ " shows the absence of the same :

Abdominal segments.	I	II	III-VI	VII	VIII	IX	X
Names of muscles.							
<b>Dorsal Muscles</b>							
First internal dorsal. . . . .	×	×	×	×	×	×	} Only one pair.
Second internal dorsal. . . . .	×	×	×	×	×	×	
Third internal dorsal. . . . .	×	×	×	×	×	×	
Fourth internal dorsal. . . . .	×	×	○	○	○	○	
First external dorsal. . . . .	×	×	×	×	×	×	
Second external dorsal. . . . .	×	×	×	×	×	×	
Third external dorsal. . . . .	×	×	○	○	○	○	

Abdominal segments.	I	II	III-VI	VII	VIII	IX	X
Names of muscles.							
<b>Dorsal Transverse Muscle</b> . . . . .	○	×	×	×	×	×	○
<b>Ventral Muscles</b>							
First internal ventral. . . . .	×	×	×	×	○	○	○
Second internal ventral. . . . .	×	×	×	×	○	○	○
First external ventral. . . . .	×	×	×	×	○	○	○
Second external ventral. . . . .	×	×	×	×	○	○	○
Ventral dilator of vagina. . . . .	○	○	○	×	○	○	○
<b>Retractor of Dorsal and Inner Valvulae</b>	○	○	○	○	○	×	○
<b>Ventral Dilator of Intervalvular Pouch</b>	○	○	○	○	○	×	○
<b>Dilator of Spermatheca</b> . . . . .	○	○	○	○	×	○	○
<b>Ventral Transverse Muscle</b> . . . . .	×	○	○	○	○	○	○
<b>Tergo-Sternal Muscles</b>							
Anterior intersegmental tergo-sternal. .	×	×	×	×	×	×	×
Posterior intersegmental tergo-sternal. .	○	×	×	×	○	×	○
Internal tergo-sternal. . . . .	×	×	×	×	×	×	×
External tergo-sternal. . . . .	×	×	×	×	×	○	○
Dorsal dilator of vagina. . . . .	○	○	○	○	×	○	○
Dorsal dilator of intervalvular pouch. .	○	○	○	○	○	×	○
<b>Tergo-Pleural Muscle</b> . . . . .	×	×	×	×	×	○	○
<b>Muscles of Spiracle</b>							
Occlusor of spiracle. . . . .	×	×	×	×	×	○	○
Dilator of spiracle. . . . .	×	○	○	○	○	○	○
<b>Cercal Muscles</b>							
Adductor of cercus. . . . .	○	○	○	○	○	○	×
Depressor of cercus. . . . .	○	○	○	○	○	○	×
<b>Dilator of Anterior Hind Intestine</b> . .	○	○	○	×	○	○	○
<b>Dilators of Rectum and Anus</b>							
Dilators of rectum. . . . .	○	○	○	○	○	○	×
Dilators of anus. . . . .	○	○	○	○	○	○	×

## XVI. COMPARISON WITH THE ABDOMINAL MUSCULATURE OF SOME OTHER INSECTS

The abdominal musculature in orthopteroid insects has been investigated in *Periplaneta orientalis* by MIALl and DENNY (1886), in *Periplaneta americana* and *Grylotalpa vulgaris* by PEYTOREAU (1895),

in *Gryllus domesticus* by VOSS (1905), *Gryllus assimilis* by DU PORTE (1920), in nineteen species elected as representatives of main families of orthopteroid group by FORD (1923), and in *Dissosteira carolina* by SNODGRASS (1931), etc.

FORD (1923) was the first to describe the abdominal musculature of the phasmid group, in her general comparative study of the abdominal muscles of orthopteroid insects she elected *Diapheromera femorata* as the representative of the phasmid group, and described on only the typical segments.

The writer has examined all the parts of the abdomen of the *Megacrania* as already mentioned. These facts can be generally accounted and compared with those of some other insects by other authors.

The dorsal muscles number four pairs of the internals and three pairs of the externals in each of the first two abdominal segments, three pairs of the internals and two pairs of the externals in each of the third to the ninth abdominal segment, and only one pair of the small dorsal in the tenth segment. The muscles anteriorly arise on the tenth tergal wall and are posteriorly inserted into the anterior or dorsal base of the small median lobe (designated as "ep" in Fig. 21) projected on the posterior side of the tenth tergal plate, therefore the posterior border of the tenth tergum is distinctly orientated by the posterior attachment of the muscles, while the median small lobe may be considered as the eleventh tergal region otherwise the fused portion of terga of the apical two segments. The feature of the dorsal muscles of the third to the ninth abdominal segment is resemblant to those of *Diapheromera femorata* by FORD (1923). Comparing furthermore the internal dorsal muscles of the present species with those of the other groups in orthopteroid insects, a great difference is found between them, namely, the internal dorsal muscles of the many other groups are originated on or near the anterior end of the segments, but the anterior origins of the same muscles of the present species are exceedingly far from the anterior end of the segment.

According to MIALl and DENNY (1886) the *Periplaneta orientalis*

is provided with ten pairs of the dorsal transverse muscles in the abdomen, one in each of the first ten segments, and to SNODGRASS (1903) *Peranabrus scabricollis* with eleven pairs in the abdomen, also he (1931) says that many orthopteroid insects have seven or eight pairs, one in each of the second to the eighth or ninth abdominal segment. But the present species are provided with nine pairs (besides two pairs in the thorax as already mentioned), one on each anterior tergal end or antecosta of the second to tenth abdominal segment.

In the present species there are present two pairs of the internal ventral muscles and of the external ventrals in each of the first seven segments, but in the other segments the longitudinal ventral muscles are entirely obsolete. In the seventh sternum there are a pair of the ventral dilators of the vagina inserted posteriorly into the anterior portion of the vagina, these are undoubtedly belonging to a part of the ventral muscles of the seventh segment, since it has been shown that the ventral muscles of the seventh abdominal segment are entirely attaching on the vagina in some species of Acryiidae, Acrididae and Grylloblattidae by FORD (1923). The feature of the ventral muscles of the normal segments is resemblant to that of *Diapheromera femorata* by FORD (1923). The internal ventral muscles are very different from those of the other groups in orthopteroid insects, and their anterior ends are more posteriorly originated on the sternal wall than those of the latter insects as in the internal dorsal muscles.

In the present species the ventral transverse muscles are indistinct except those in the first segment. According to FORD (1923) there are three types in the ventral transverse muscles of orthopteroid insects, the webby, the compact, and the combination of the webby and compact (seen in *Nemobius*), the first type being the most primitive. The ventral transverse muscle of the first segment of the present species belongs to the second type.

The lateral muscles of phasmids are more specialized than those in the other orthopteroid insects. The vertical fine muscular bundles

are arranged on the lateral side of the segment along the length. According to FORD (1923) in *Diapheromera* there are the tergo-sternal muscles and tergo-pleural muscles, and in the former the tendency of two-layerly separation is less distinct. The tergo-pleural muscles of the present species are somewhat resemblant to that of *Diapheromera* (FORD 1923), but the tergo-sternal muscles are distinctly separated into two layers the internal and the external as shown in Fig. 13.

In the present species there are two kinds of the intersegmental tergo-sternal muscles, the anterior and the posterior. The anterior intersegmental tergo-sternal muscles are true intersegmentals connecting the tergal intersegmental ridge with the sternal intersegmental ridge vertically. The posterior intersegmental tergo-sternals are muscles connecting the sternal intersegmental ridge with the preceded tergum obliquely, and corresponding to the intersegmental tergo-sternals by FORD (1923).

The dorsal dilators of the vagina and of the intervalvular pouch undoubtedly belong to the tergo-sternal muscles, since the vagina and the intervalvular pouch are the modified sternal walls.

The dilators of the spermatheca and the ventral dilator of the intervalvular pouch may be secondarily developed though the writer is not able to determine their homology.

According to FORD (1923) the spiracular muscles are characteristic for the orders and important as phylogenetic evidence, and present only one occlusor muscle in each abdominal spiracle in the phasmid group (by observation on *Diapheromera*). The spiracular musculature of the present species is also resemblant to *Diapheromera* (FORD 1923), but in the first segment there is found the antagonistic or dilator muscle arising on the pleural region in addition to the occlusor.

DU PORTE (1920) describes four cercal muscles originating on the tenth tergum, the adductor, the depressor, the elevator, and the abductor in the study of the musculature of *Gryllus*. FORD (1923) in her description says that the typical form of the cercal musculature

of orthopteroid insects was found in *Grylloblatta*, and the latter was provided with three muscles arising on the tenth tergum, the depressor, the abductor and the elevator. But in the present species there are only two muscles, the adductor and the depressor.

The longitudinal muscles of the anterior hind intestine of the present species may be said to correspond to the longitudinal intestinal muscles by FORD (1923). According to her the posterior ends of the latter muscles are attached on the anterior end of the rectum in Acrididae, Gryllidae and Tettigonidae, etc., but those of the present species are more posteriorly attached on the rectum than the above groups.

In the present species the strong dilators of the anterior hind intestine are present as already mentioned. These dilators are seemed to be the muscles which have never been described.

The rectal muscles are resemblant to those of Acrididae Gryllidae, and Tettigonidae by FORD (1923).

## XVII. SUMMARY OF THE ABDOMINAL MUSCULATURE

- 1) The dorsal longitudinal muscles of the phasmid are present on the first ten segments, and those in the two basal segments are well developed, but those in the tenth reduced very much, those in typical segments are resemblant to *Diapheromera*, and the anterior ends of the internal dorsal muscles are more posteriorly attached on the tergal walls than those of the other groups in orthopteroid insects.
- 2) The dorsal transverse muscles number nine pairs in the abdomen.
- 3) The ventral muscles are present on the first seven segments and the ninth segment, those in the former ones are resemblant to those of *Diapheromera*, and the anterior attachments of the internal ventral muscles are more posteriorly situated than those of the other groups in orthopteroid insects.

- 4) The ventral transverse muscles are indistinct except the muscle in the first adominal segment.
- 5) The lateral muscles are distinctly divided into three layers, the internal and external tergo-sternal muscles and the tergo-pleural muscles.
- 6) The first abdominal spiracle is provided with two muscles, the occluser and the dilator muscle (wanting in *Diapheromera*), but each of the other abdominal spiracles has only the occluser.
- 7) The cercal muscles are present two, the adductor and the depressor arising on the tenth abdominal tergum.
- 8) There are the strong dilators of the anterior hind intestine arising on the seventh abdominal tergum.
- 9) The longitudinal muscles of the anterior hind intestine are more posteriorly extending than in some other orthopteroid insects.

### XVIII. GENERAL SUMMARY

- 1) This investigation deals anatomically with the myology of *Megacrana tsudai* SHIRAKI.
- 2) The musculature of the head shows a complex form of the Grylloblattidae, Acridiidae and Gryllidae.
- 3) The thoracic musculature of the present species is differing from those of Gryllidae and Acridiidae, but the musculature of the cirvical region and the leg muscles originated on the body are considerably resemblant to those of the latter family.
- 4) The presence of the sternosubcoxal promotor of the coxa in the mesothorax and of the tergal abductor of the same in the prothorax is characteristic.
- 5) The tergo-sternal muscles of the thorax are not so much developed as in many winged insects, it is possibly caused to the less development of the wings.



- 6) The ventral muscles of the mesothorax are exceedingly reduced.
  - 7) The trochanteric muscles arising on the coxa are well developed.
  - 8) The transverse muscles of the tarsal segments are usually found in many insects which bear the segmented tarsi.
  - 9) In each leg the nearly sclerotized levator muscle of the tibia is present, of which the proximal end is fused to the dorsal base of the femur and the distal end is attached on the dorsal base of the tibia.
  - 10) The abdominal musculature is resemblant to that of the *Diaphe-romera* in the normal abdominal segments.
  - 11) A special feature is that the anterior ends of the internal dorsal muscles and the internal ventral muscles of the abdominal segments are attached exceedingly far from the anterior ends of the segments on the walls, being a remarkable characteristic in the musculature of the phasmid group.
  - 12) The alary or dorsal transverse muscles are composed of eleven pairs.
  - 13) The muscles of the ovaries are composed of two main muscles, one arises on the prothoracic tergum, and the other on the metathoracic tergum.
  - 14) On the anterior hind intestine there are attached the dilator muscles composed of two pairs of strong bundles of fibers arising on the seventh abdominal tergum.
  - 15) The secretory juice of the thoracic gland (or defence organ) is pressed out by the circular and longitudinal muscles which surround the glandular sac, and the direction of the shooting of the juice is regulated by three muscles which arise on the cervical region and is attached on the margin of the orifice of the same gland.
-

## XIX. BIBLIOGRAPHY

- AMANS, P. C. 1884. Sur les organes du vol des Orthoptères. *Revue des science. naturelles*, Montp. Paris, sér. 3. III, p. 121-139.
- BAUER, A. 1910. Die Muskulatur von *Dytiscus marginalis*. Ein Beitrag zur Morphologie des Insektenkörpers. *Zeits. wiss. Zool.* Leipzig, XCV, p. 593-646.
- BASCH, S. 1865. Untersuchungen über das Skelet und die Muskeln des Kopfes von *Termes flavipes* (Koller). *Ibid.* XV, p. 65-75.
- BERLESE, A. 1909. *Gli Insetti*, I. Milan.
- BÖRNER, C. 1902. Über die Gliederung der Laufbeine der Atelocerata HEYMONS. *Sitzungsber. d. Ges. nat. Fr., Berlin*.
- 1909. Neue Homologien zwischen Crustaceen und Hexapoden. Die Beissmandibel der Insekten und ihre phylogenetische Bedeutung. *Zool. Anz.* Leipzig, XXXIV, p. 100-125.
- BÖVING, A. G. 1914. On the abdominal structure of certain beetle larvae of the campodeiform type. A study of the relation between structure of the integument and the muscles. *Proc. Ent. Soc. Washington D. C.*, XVI, p. 55-63.
- BROCHER, F. 1926. Observations sur le Perithous mediator Grav. *Ann. Soc. ent. France*, Paris, XCV, p. 391-410.
- BRUNETEAU, J. 1927. Contribution a l'étude des caracteres extérieurs et des pieces squelettiques du Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata* Say) a l'état d'insecte parfait. *Rev. Zool. agric. Bordeaux*, XXVI, p. 121-128, 137-140, 153-159.
- BRUNNICH, 1911. Die Muskeln bei der Biene. *Schweiz. Bienenztg Aarau N. F.* XXIV, p. 277-283.
- BURMEISTER, H. 1832. *Handbuch der Entomologie*, Berlin.
- CARLET, 1834. Sur les muscles de l'abdomen de l'abeille. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris*, XCVIII.
- CARPENTIER, F. 1923. Musculature et squelette chitineux. *Mem. Acad. Roy. Belgique*, VII, fasc. 3, p. 1-56.
- CHABRIER, J. 1822. Auszug der drei Bände über den Flug der Insekten. *Journal de physique*, XCI, p. 199.
- CHOPARD, L. 1917. Note préliminaire sur la conformation de l'extrémité abdominale des Orthoptères. *Arch. de Zool. expérimentale et générale*, LVI, No. 5, p. 105-112.
- 1918. Note préliminaire sur la conformation de l'organe copulateur des Orthoptères. *Bull. Soc. Zool. de France*, XLIII, p. 59-67.
- 1920. Recherches sur la conformation et le développement des derniers segments abdominaux chez les Orthoptères. *Rennes, Imprimerie Oberthur*.
- CIACCIO, G. F. 1882. Dell'anatomia minuta di quei muscoli che negli Insetti muovono le ali. *Rend. Acc. Sc., Bologna*, 1882, p. 102-105.
- CRAIGHEAD, F. C. 1916. The determination of the abdominal and thoracic areas of the cerambycid larvae as based on a study of the muscles. *Proc. Ent. Soc. Washington D. C.*, XVIII, p. 129-146.
- DAHL, F. 1884. Beiträge zur Kenntnis des Baues und der Funktion der Insektenbeine. *Arch. f. Naturg.*, L, p. 146-193.
- DEEGENER, P. 1913. Muskulatur und Endoskelett, in *SCHRÖDERS Handbuch der Entomologie*, I, Kap. 7. Jena.
- DU PORTE, E. M. 1920. The muscular system of *Gryllus assimilis* Fabr. (= *pennsylvanicus* Brum.). *Ann. Ent. Soc. Amer. Columbus*, XIII, p. 16-52.
- EIDMANN, H. 1925. Vergleichend-anatomische Studien über die Pharynxmuskulatur der Insekten. *Zool. Anz. Leipzig*, LXII, p. 49-64.

- FEUERBORN, H. J. 1927. Über die Genese der imaginalen Thoraxmuskulatur und das Tracheensystem von *Psychoda alternata* Say. Ibid. LXXI, p. 249-269.
- FONTES, J. & VELOSO, F. 1923. Sur les mouvements automatiques des muscles pattes de *Blatta germanica*. C. R. Soc. Biol. Paris, LXXXVIII, p. 835-837, 1318-1319.
- FORBES, W. T. M. 1914. A structural study of the caterpillars. 3. The somatic muscles. Ann. Ent. Soc. Amer. Columbus, VII, p. 109-124.
- FORD, H. 1923. A comparative study of the abdominal musculature of Orthopteroid insects. Trans. Cand. Inst., Toronto, XIV, p. 207-319.
- FULLER, C. 1924. The thorax and abdomen of winged termites with special reference to the sclerites and muscles of the thorax. Union S. Africa Dept. Agric., Pretoria Ent. Mem., II, p. 49-78.
- GRABER, V. 1877. Die Insekten, München. I. Der Organismus der Insekten.
- 1884. Ueber die Mechanik des Insektenkörpers. I. Mechanik der Beine. Biol. Centralbl., IV, p. 560-570.
- JANET, C. 1897. Études etc. Note 16. Limites morphologiques des anneaux post-céphaliques et musculature des anneaux post-thoraciques chez la *Myrmica rubra*. Lille.
- JOBLING, B. 1928. The structure of the head and mouth-parts in *Culicoides pulicaris*, L. (Dip. Nemat.). Bull. Ent. Res., London, XVII, p. 211-236.
- LANDOIS & THELEN. 1867. Der Tracheenverschluss bei den Insecten. Zeit. wiss. Zool. Leipzig, XVII, p. 187-213.
- LEE, M. O. 1925. On the mechanism of respiration in certain Orthoptera. Jour. Exp. Zool., XLI, p. 125-154.
- LUKS, C. 1883. Über die Brustmuskulatur der Insekten. Jen. Zeits. f. Natw., XVI, p. 529-552.
- MALOUF, N. S. R. 1933. The skeletal motor mechanism of the thorax of the "Stink Bug", *Nezara viridula* L. Bull. Soc. Roy. Ent. d'Egypte, 1932, 161-203.
- MANGAN, J. 1908. On the mouth-parts of some Blattidae. Proc. R. Irish Acad. XXVII, p. 1-10.
- MERCIER, L. & VILLENEUVE, J. 1925. Contribution à l'anatomie de la tête des Diptères cyclorrhaphes. La ptiline et le muscle ptilino-pharyngien. C. R. Acad. Sci., Paris, CLXXXI, p. 882-884.
- MIALL, L. C. & DENNY, A. 1886. The structure and life history of the cockroach. London.
- MILLER, F. W. 1933. The musculature of the woolly aphid of the elm (*Schizoneura americana*). Ann. Ent. Soc. Amer. Columbus, XXVI, p. 473-485.
- MORISON, G. D. 1927-28. The muscles of the adult honey-bee (*Apis mellifera* L.). Part I, II. Quart. Journ. Micr. Sci., LXXI, p. 395-463, LXXII, p. 563-651.
- OCKLER, A. 1890. Das Kralleglied am Insektenfuss. Arch. f. Naturg. 56. Jahrg.
- PEACOCK, A. D. 1918. The structure of the mouth-parts and mechanism of feeding in *Pediculus humanus*. Parasitology, XI, p. 98-117.
- PETRI, L. 1839. I muscoli delle ali nei Ditteri e negli Imenotteri. Bull. Soc. ent. Ital., XXXI, p. 3-45.
- POLETAJEW, N. 1880. Flugmuskeln der Lepidopteren und Libelluliden. Zool. Anz. Leipzig, III, p. 212-213.
- POTTS, S. F. 1927. The alimentary canal of the Mexican bean beetle. Ohio J. Sci., Columbus, XXVII, p. 127-137.
- PRELL, H. 1912. Beiträge zur Kenntnis der Proturie. iii. Gliederung und eigne Muskulatur der Beine von Acerentomon und Eosentomon. Zool. Anz. Leipzig, XL, p. 33-50.

- SAMTLEBEN, B. 1929. Anatomie und Histologie der Abdominal- und Thoraxmuskulatur von Stechmückenlarven. Zeits. wiss. Zool. Leipzig, CXXXIV, p. 180-269.
- SNETHLAGE, E. 1905. Über die Frage von Muskelansatz und der Herkunft der Muskulatur bei den Arthropoden. Zool. Jahrb. Anat., XXI, p. 495-514.
- SNODGRASS, R. E. 1903. Notes on the internal anatomy of *Peranabrus scabricollis* (Thom.). Jour. N. Y. Ent. Soc., XI, p. 183-188.
- 1925. The anatomy and physiology of the honey bee. New York, McGraw-Hill Co.
- 1909. The thorax of insects and the articulation of the wings. Proc. U. S. Nat. Mus., XXXVI, p. 511-595.
- 1927. Morphology and evolution of the insect thorax. Smithsonian Miscel. Coll., LXXX, No. 1.
- 1928. Morphology and evolution of the insect head and its appendages. Ibid. LXXXI, No. 3.
- 1929. The thoracic mechanism of a grasshopper and its antecedents. Ibid. LXXXIII, No. 2.
- 1931. Morphology of the insect abdomen. pt. 1. Ibid. LXXXV, No. 5.
- SOLF, V. 1931. Reizphysiologische Untersuchungen an Orthopterenmuskulatur. Zool. Jahrb. Allg. Zool. u. Physiol., L, p. 175-264.
- SOLOWIOW, P. 1909. Zum Bau des Verschlussapparates der Stigmen bei den Insekten. Zool. Anz. Leipzig, XXXIV, p. 705-711.
- SPEYER, W. 1920. Die Pharynxmuskulatur der Larve von *Dytiscus marginalis* L. Ibid. LI, p. 234-250.
- 1922. Die Muskulatur der Larve von *Dytiscus marginalis* L. Zeits. wiss. Zool. Leipzig, CXIX, p. 423-492.
- STRAUS-DÜRKHEIM, H. E. 1828. Considérations générales sur l'anatomie comparée des animaux articulés, auxquelles on a joint l'anatomie comparative du Hanneton (*Melolontha vulgaris*). Paris.
- TAKAHASHI, Y. 1932. On the thoracic musculature of the Ephemerid imago. (in Japanese). Trans. Kansai Ent. Soc., No. 3, p. 1-12.
- THOMPSON, W. R. 1928. A contribution to the study of the Dipterous parasites of the European earwig (*Forficula auricularia* L.). Parasitology, Cambridge, XX, p. 123-158.
- UICHANCO, L. B. 1921. Musculature and mechanism of movement of the tarsi in aphids. Psyche, XXVIII, p. 63-69.
- VERHOEFF, C. 1895. Beiträge zur vergleichenden Morphologie des Abdomens der Coccinelliden, und über die Hinterleibsmuskulatur von *Coccinella*, zugleich ein Versuch die Coccinelliden anatomisch zu begründen und natürlich zu gruppieren. Arch. Naturg., LXI, p. 1-80.
- 1895. Vergleichend-morphologische Untersuchungen über das Abdomen der Endomychiden, Erotyliden und Languriiden (im alten Sinne) und über die Muskulatur des Copulationsapparates von *Triplax*. Arch. Naturg., LXI, p. 213-287.
- VERHOEFF, K. W. 1904. Über vergleichende Morphologie des Kopfes niederer Insekten mit besonderer Berücksichtigung der Dermapteren und Thysanuren, nebst biologisch-physiologischen Beiträgen. Nova Acta. Leop. Carol. Deuts. Akad. Nat., LXXXIV, Nr. 1, p. 5-128.
- VINAL, S. C. 1919. The respiratory system of the Carolina locust (*Dissosteira carolina* L.). J. N. Y. Ent. Soc., XXVII, p. 19-32.
- VOSS, F. 1905. Über den Thorax von *Gryllus domesticus*. II-IV. Zeits. wiss. Zool. Leipzig, LXXVIII, p. 355-521, 645-759.

- 1912. Über den Thorax von *Gryllus domesticus*. V. Ibid. C, p. 589-834, CI, p. 445-682.
- WALKER, E. M. 1931. On the anatomy of *Grylloblatta campodeiformis* Walker. I. Exoskeleton and musculature of the head. Ann. Ent. Soc. Amer. Columbus, XXIV, p. 519-531.
- 1933. On the anatomy of *Grylloblatta campodeiformis* Walker. 2. Comparisons of head with those of other Orthopteroid insects. Ibid. XXVI, p. 309-344.
- WEBER, H. 1927. Die Gliederung der Sternalregion des *Tenthredinidenthorax*. Zeits. wiss. Insektenbiol., XXII, p. 161-198.
- 1928. Skelett, Muskulatur und Darm der schwarzen Blattlaus, *Aphis fabae* Scop. Zoologica, XXVIII, 120 pp.
- 1929. Kopf und Thorax von *Psylla mali* Schmidb. (Hemiptera-Homoptera). Eine Morphogenetische Studie. Zeits. Morph. u. Ökol. Tiere, XIV, p. 59-166.
- 1933. Lehrbuch der Entomologie.
- WHEDON, A. D. 1918. The comparative morphology and possible adaptations of the abdomen in the Odonata. Trans. Amer. Ent. Soc. Philadelphia, XLIV, p. 373-437.
-

## XX. ABBREVIATIONS

a	Antenna
aam	Anterior articulation of mandible
aat	Anterior arm of tentorium
ac	Alimental canal
acr	Anterior coxal ridge
ag	Accessory gland of vagina
an	Anus
anw	Anterior notal wing process
ap	Apodemes
apt	Anterior process of tentorial body
ar	Arolium
as	Antennal sclerite
asp	Abdominal spiracle
ast	Abdominal sternum
asu	Antennal suture
at	Abdominal tergum
atr	Anterior transverse ridge of pronotum
b	Basarale
bs	Basisternite
c	Cercus
ca	Cardo
ce	Compound eye
cl	Claw
cly	Clypeus
cov	Common oviduct
cp	Coxal process
cr	Crop
cx	Coxa
dat	Dorsal arm of tentorium
dtm	Dorsal transverse muscle
ec	Eucervicale
edm	External dorsal muscle
em	Epimeron
ep	Epiproct
er	Epistomal ridge
es	Episternum
esu	Epistomal suture
etsm	External tergo-sternal muscle
evm	External ventral muscle
f	Femur
fl	Flagellum
fr	Frons
fu	Furca
fx	Fourth axillary
g	Gena

ga	Galea
gl	Glossa
h	Heart
hi	Hind intestine
hp	Hypopharynx
idm	Internal dorsal muscles
ip	Intervalvular pouch
irc	Internal ridge of cardo
irm	Internal ridge of mentum
irs	Internal ridge of stipes
itsm	Internal tergo-sternal muscle
ivm	Internal ventral muscle
lb	Labrum
lc	Lacinia
lp	Labial palpus
m	Mouth
mal	Malpighian tubes
md	Mandible
mi	Midintestine
mm	Margin of mouth of thoracic gland
mr	Median ridge of pronotum
mt	Mentum
mtg	Mouth of thoracic gland
mxp	Maxillary palpus
nc	Nerve cord
o	Ostium
oc	Occiput
occ	Occipital condyle
oe	Oesophagus
oh	Oral arm of hypopharyngeal suspensorial rod
os	Ocular sclerite
ov	Oviduct
p	Pedicel
pat	Posterior arm of tentorium
pc	Postcervicale
pcr	Posterior coxal ridge
pcx	Precoxale
pg	Postgena
pgl	Paraglossa
ph	Phragma
pha	Pharynx
pl	Pleuron.
plr	Pleural ridge
pn	Pronotum
poc	Postocciput
pos	Postoccipital suture
pp	Paraproct
ppr	Process of pleural ridge
ppt	Process of posterior tentorial arm
pr	Peritreme

prs	Presternite
psc	Prescutum
pscl	Postscutellum
pst	Prosternum
ptr	Posterior transverse ridge of pronotum
pv	Proventriculus
pva	Process of antennal sclerite
r	Rectum
s	Scape
sa	Subarale
sc	Scutum
scl	Scutellum
sd	Salivary duct
sm	Submentum
sn	Sternellum
so	Salivary orifice
spa	Spiracle of abdomen
spe	Spermatheca
spt	Spiracle of thorax
ssr	Secondary ridge of scutum
ssc	Subdivision of scutum
st	Stipes
t	Tarsus
tb	Tentorial body
th	Thickening of episternum
ti	Tibia
tn	Trochantin
to	Torma
tpm	Tergo-pleural muscle
tr	Trochanter
tra	Trachea
tx	Third axirally
u	Unguitractor plate
v	Vagina
vf	Valvifer
vx	Vertex

---





## **PLATE I.**

### **Explanation of Plate I.**

**Fig. 1.** Pharyngeal muscles (lateral aspect).

**Fig. 2.** Muscles of antenna, labrum, mandible, hypopharynx, and labium (median aspect).





T. MAKI: Musculature of *Megacrania tsudai*.

**Fig. 1.**

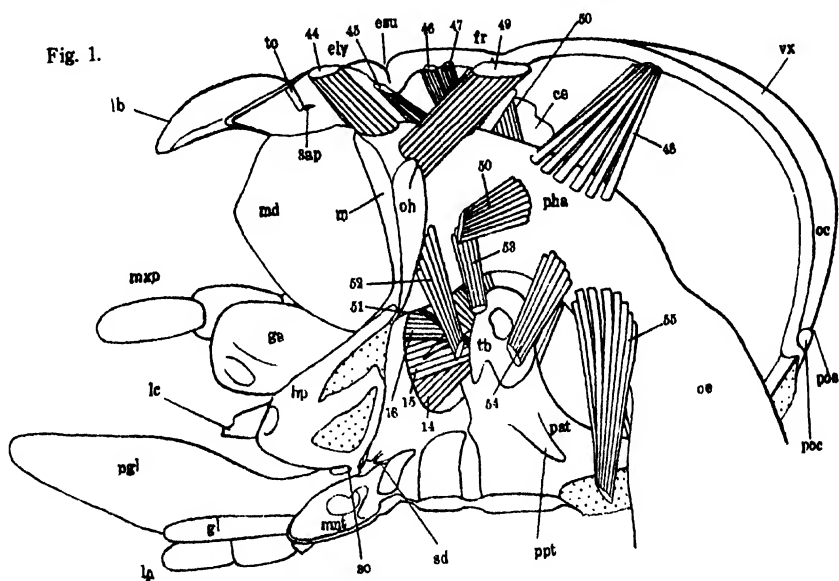
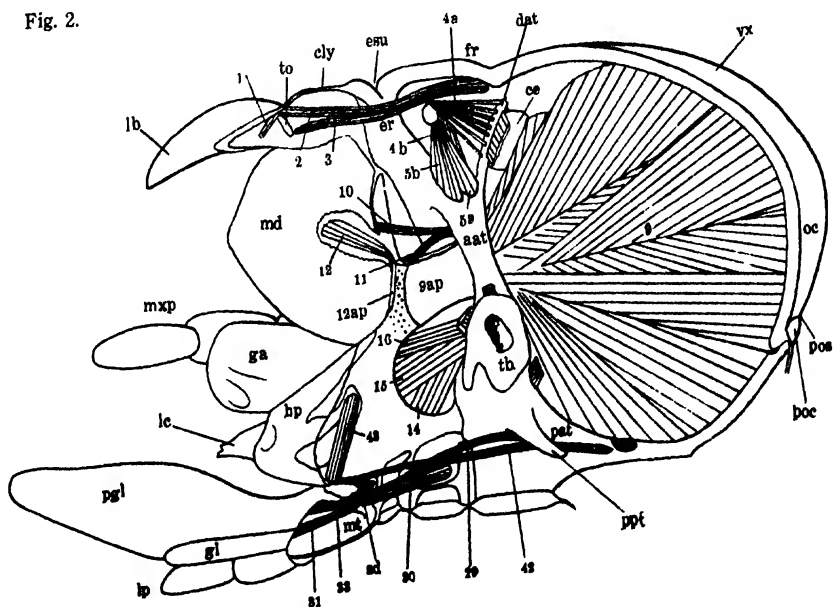


Fig. 2.





## **PLATE II.**



### **Explanation of Plate II.**

**Fig. 3. Muscles of mandible and maxilla (median aspect).**

**Fig. 4. Muscles of labium (anterior aspect).**

**Fig. 5. Muscles of maxilla (anterior aspect).**



### **Explanation of Plate II.**

**Fig. 3.** Muscles of mandible and maxilla (ventral aspect).

**Fig. 4.** Muscles of mandible (dorsal aspect).

**Fig. 5.** Muscles of mandible (anterior aspect).

Fig. 3.

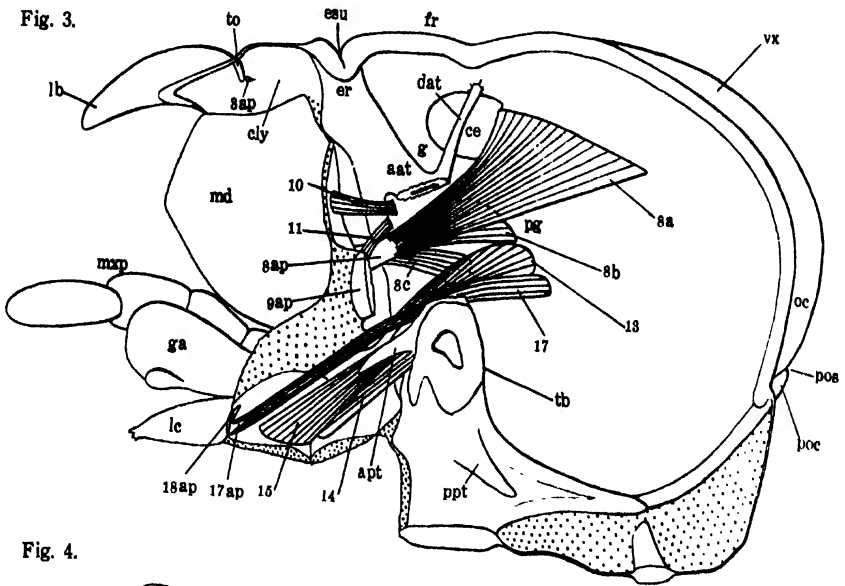


Fig. 4.

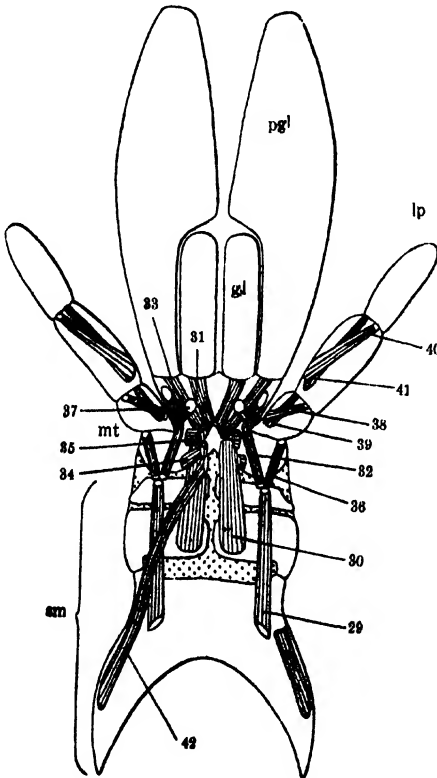
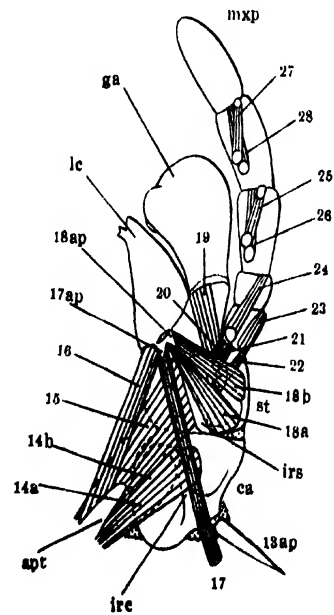


Fig. 5.





# **PLATE III.**

### **Explanation of Plate III.**

- Fig. 6. Muscles of mandible (dorsal aspect).**
- Fig. 7. Muscles of labrum and pharynx (posterior aspect).**
- Fig. 8. Muscles of right antenna (dorsal aspect).**
- Fig. 9. Muscles of first thoracic spiracle (median aspect).**
- Fig. 10. Muscles of second thoracic spiracle (median aspect).**
- Fig. 11. Muscles of first abdominal spiracle (median aspect).**
- Fig. 12. Muscles of second abdominal spiracle (median aspect).**
- Fig. 13. Diagram of transverse section of typical abdominal segment.**





### **Explanation of Plate III.**

- Fig. 6. Muscles of mandible (dorsal aspect).**
- Fig. 7. Muscles of labrum and pharynx (posterior aspect).**
- Fig. 8. Muscles of right antenna (lateral aspect).**
- Fig. 9. Muscles of first thoracic spiracle (median aspect).**
- Fig. 10. Muscles of second thoracic spiracle (median aspect).**
- Fig. 11. Muscles of first abdominal spiracle (median aspect).**
- Fig. 12. Muscles of second abdominal spiracle (median aspect).**
- Fig. 13. Diagram of transverse section of typical abdominal segment.**

Fig. 6.

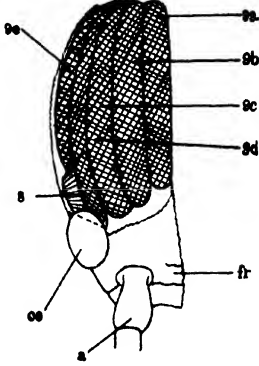


Fig. 12.



Fig. 8.

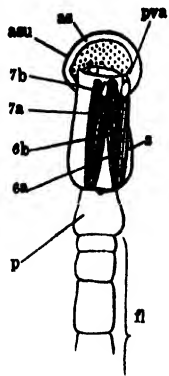


Fig. 7.

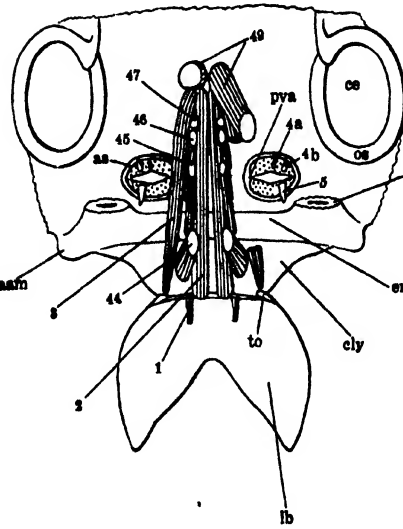


Fig. 9.

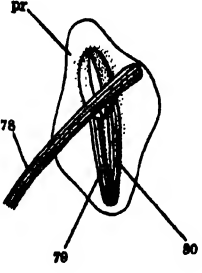


Fig. 10

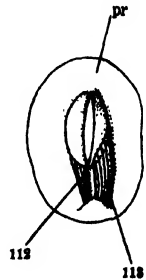


Fig. 13.

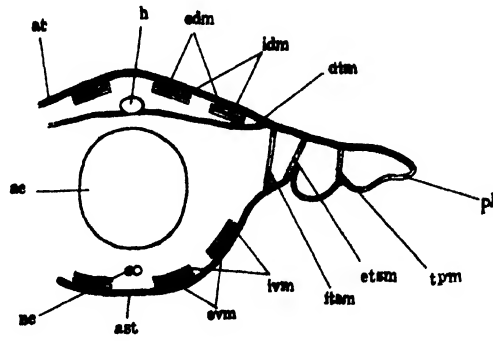
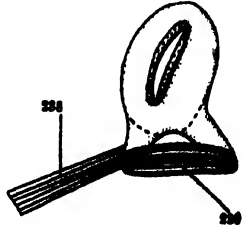


Fig. 11.





## **PLATE IV.**

### **Explanation of Plate IV.**

- Fig. 14.** Muscles of hind trochanter originated on anterior wall of coxa (posterior aspect).
- Fig. 15.** Muscles of hind leg (anterior aspect).
- Fig. 16.** Muscles of middle trochanter originated on anterior wall of coxa (posterior aspect).
- Fig. 17.** Muscles of middle leg (anterior aspect).
- Fig. 18.** Muscles of fore trochanter originated on anterior wall of coxa (posterior aspect).
- Fig. 19.** Muscles of fore leg (anterior aspect).
- Fig. 20.** Muscles of thoracic gland (median aspect).





**PLATE V.**



## **Explanation of Plate V.**

**Fig. 21.** Abdominal musculature (expanded, internal aspect).

**Fig. 22.** Diagram of thoracic musculature (right half). Directions of stretching of muscles are shown by stout lines, and attached portions of those are done by dotted areas.





Fig. 21.

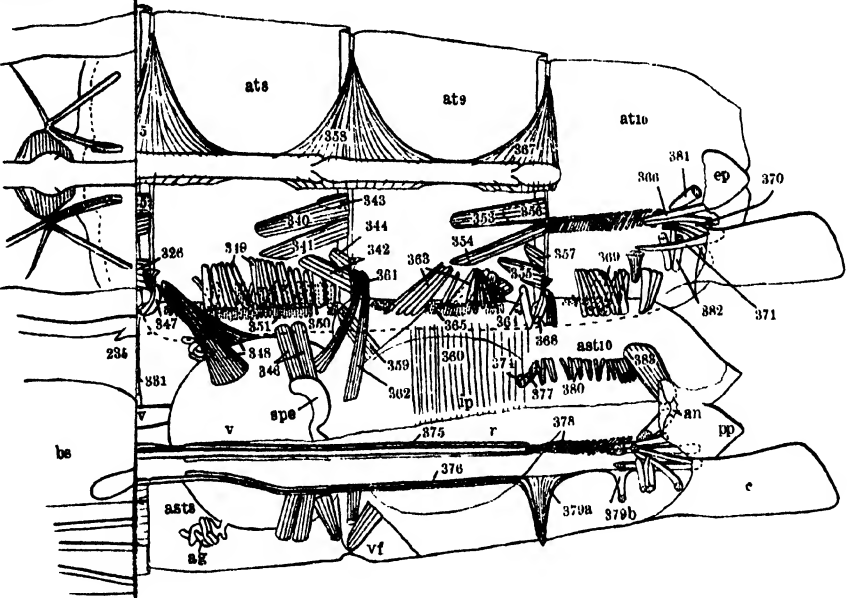
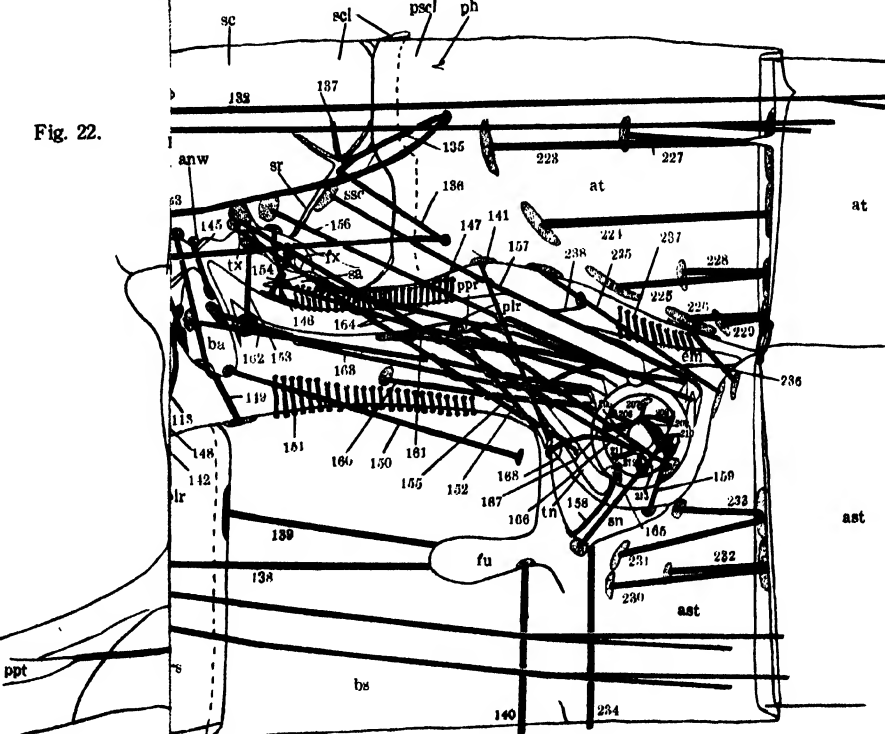


Fig. 22.





昭和十年二月二十五日印刷

昭和十年二月二十八日發行

---

編纂兼發行者 臺北帝國大學理農學部

印刷者 叙 川 首

臺北市大正町二ノ三七

印刷所 株式會社臺灣日日新報社

臺北市榮町四ノ三二

---

購買申込所 株式會社臺灣日日新報社

臺北市榮町四ノ三二

同 丸 善 株 式 會 社

東京市日本橋區區二丁目



# EXPERIMENTELLE STUDIEN ÜBER DIE TRANSPIRATION UND DEN WÄRMEHAUSHALT BEI INSEKTEN

## VIII. MITTEILUNG :

### Beziehungen der Bilanz des Wärmehaushaltes zur Temperatur des Insektenkörpers bei konstanter Lufttemperatur

(Mit 3 Textabbildungen)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, September, 27, 1934)

#### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung ... ..	282
B. Versuchsmaterial ... ..	285
C. Versuchsmethoden ... ..	285
I. Respirationsapparat ... ..	285
II. Kalorimeter ... ..	289
III. Messungen der Körpertemperatur ... ..	295
D. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	297
I. O <sub>2</sub> -Verbrauch und CO <sub>2</sub> -Produktion ... ..	297
II. Wasserdampfabgabe ... ..	299
III. Beziehungen der O <sub>2</sub> -Aufnahme, CO <sub>2</sub> -Abgabe und H <sub>2</sub> O- Ausscheidung zur Lufttemperatur und -feuchtigkeit	300
IV. Körpertemperatur ... ..	302
V. Wärmeproduktion ... ..	303
VI. Wärmeabgabe ... ..	305
E. Prozentuales Verhältnis der Gesamtwärmeproduktion und -abgabe zur Lufttemperatur und -feuchtigkeit	309
F. Beziehung zwischen der Bilanz des Wärmehaushaltes und der Körpertemperatur ... ..	310
G. Zusammenfassung... ..	312
H. Literatur ... ..	315



daten liefern und die Beziehungen zwischen der Körpertemperatur und dem Wärmeumsatz fast unerörtert lassen.

Es ist sehr bedauerlich, dass, wie eben bemerkt, noch kaum jemand derartige sich auf den gesamten Wärmeaustausch beziehende Studien über das Poikilothermenleben unternommen hat. Deshalb habe ich mir vor einigen Jahren das Studium des Wärmehaushalts der Insekten zur Aufgabe gestellt. In dieser Beziehung sind die Insekten besonders interessant und zu Versuchen auch gut geeignet, weil sie von allen wechselwarmen Tieren den höchsten Stoff- und Energieumsatz haben. Da die Untersuchungen von KREHL und SOETBEER und von RUBNER ergeben haben, dass die Wärmeabgabe bei poikilothermen Tieren hauptsächlich durch die Wasserdampfausscheidung ausgeführt wird (dieses war auch bei einem neuerdings gemachten Versuch von BENEDICT der Fall), trug ich mich mit dem Gedanken, vorläufig die Gesamtheit des Prozesses der Wasserdampf-abgabe der Insekten genau kennenzulernen. Zu diesem Zweck habe ich ziemlich ausführliche experimentelle Untersuchungen ausgeführt. Diese zeigten, dass die Wasserdampfausscheidung der Insekten, obgleich sie die Tiere in direkte Gefahr der Austrocknung bringt, doch als ein Prozess von physiologischer Notwendigkeit für die Wärmeregulation ein sehr wichtiger Vorgang ist. Über die Einzelheiten ist bereits in 7 vorangegangenen Mitteilungen dieser Serie berichtet worden.

Gegenwärtig möchte ich die Ergebnisse meiner verschiedenen Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Insekten, dessen Erforschung den Hauptzweck meiner Studien darstellt, ausführlich mitteilen.

Die Untersuchungen, über die in der vorliegenden Mitteilung Bericht erstattet wird; betreffen die folgenden Probleme.

1. Wie verändert sich die Wärmeproduktion sowie die Wärmeabgabe der Insekten bei verschiedenen Temperaturen und Feuchtigkeiten der umgebenden Luft?
2. Welchen Einfluss hat die zwischen dieser Wärmeproduktion und -abgabe stehende Bilanz auf das Verhalten der simultan festgestellten Körpertemperatur?

## B. VERSUCHSMATERIAL

Als Versuchsmaterial diene stets *Gastrimargus transversus* THUNBERG (Acridide), ein bei uns gewöhnlicher Geradflügler. Näheres über die Behandlung des Materials bei jedem Versuch wird im folgenden mitgeteilt.

## C. VERSUCHSMETHODEN

### I. Respirationsapparat

Wenn die Geradflügler die im Körper erzeugte Wärme ausschliesslich als Verdunstungskälte abgeben und keine Abgabe durch Strahlung und Leitung vorhanden ist, wie dies bei den bereits erwähnten Untersuchungen von KREHL und SOETBEER, RUBNER, und BENEDICT der Fall war, dann ist es ohne weiteres klar, dass direkte kalorimetrische Methoden zur Messung der Wärmeproduktion ganz unbrauchbar sind. Das konnte ich auch bei unserem Insekt aus einigen Vorversuchen ersehen und habe deshalb in allen Fällen die Zuntz'sche indirekte Methode angewendet, bei welcher man aus der bei der Atmung beobachteten  $O_2$ -Aufnahme und  $CO_2$ -Produktion die produzierte Wärmemenge berechnen kann.

Der von mir hierfür verwendete Respirationsapparat ist eine von HALDANE (1982) benutzte, für kleinere Tiere bequeme Modifikation eines Pettenkofer'schen Apparates, die weiter abgeändert wurde, um bei beliebiger konstanter Lufttemperatur und -feuchtigkeit den Gaswechsel bestimmen zu können. Das Prinzip des Apparates, von dem die Bestimmungen der Wasserdampfausscheidung, Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureproduktion abhängen, ist wie folgt:

**$H_2O$ -Abgabe:** Ein fortdauernder Luftstrom von bestimmter Temperatur und Feuchtigkeit wird durch den Tierbehälter durchgeleitet, und dann in ein eine hygroskopische Substanz enthaltendes Gefäss eingeführt, in dem der Wasserdampf, den die Tiere transpiriert haben, samt dem, der anfänglich in der durchgeführten Luft enthalten war, absorbiert wird. Bringt man demnach den letzteren in Abzug von

der gesamten Absorption, so gewinnt man die Menge des von den Tieren abgegebenen Wasserdampfs. Das Prinzip wie auch die Anwendung sind schon in der ersten Mitteilung dieser Studien ausführlich beschrieben worden.

**CO<sub>2</sub>-Produktion:** Die von Kohlensäure vollständig befreite Luft von konstanter Temperatur und Feuchtigkeit tritt in den Tierbehälter ein, und die hier durch Atmung erzeugte Kohlensäure wird durch den Gewichtszuwachs eines nachstehenden Absorptionsapparates, der mit einer KalilaugeLösung gefüllt ist, bestimmt.

**O<sub>2</sub>-Aufnahme:** Die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches wird auf indirekte Weise erreicht, indem man dem Verlust an Körpergewicht das Gesamtgewicht der Ausscheidungen gegenüberstellt. Der erstere ist immer geringer als das letztere, weil der zur Oxydation verwendete Sauerstoff mit den Ausscheidungen (Kohlensäure und Wasser) zusammen gewogen wird. Die Differenz der beiden Werte ist also das gesuchte Gewicht des Sauerstoffs (vgl. „Die gravimetrische Methode zur Bestimmung der tierischen Transpiration“ in I. Mitt.).

Mein Apparat ist schematisch in untenstehender Abbildung dargestellt.

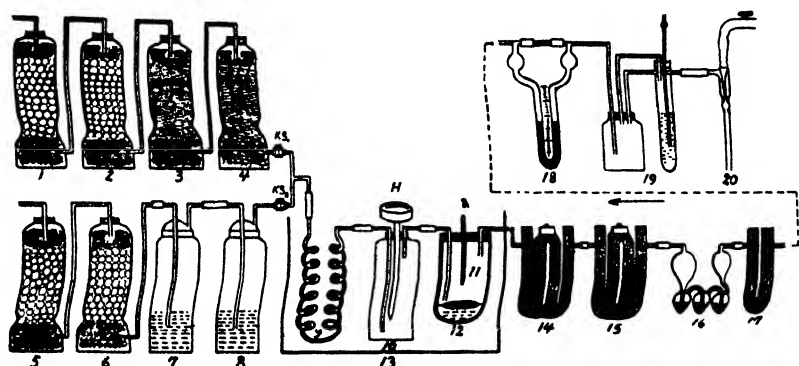


Abb. 1.

Schematische Gesamtansicht des von mir bei verschiedener Lufttemperatur und feuchtigkeit gebrauchten Respiationsapparates. Erklärung im Text.

Der verwendete Apparat besteht aus Vorrichtungen, die die atmosphärische Luft von ihrem natürlichen Kohlendioxydgehalt

befreien und ihr zugleich eine beliebige wie konstante Temperatur und Feuchtigkeit verleihen, einem Rezipienten, der die Versuchstiere enthält, Absorptionsapparaten für die abgegebene Kohlensäure und Wasserdampf und einer Saugpumpe, die das ständige Hindurchströmen der Luft veranlasst.

Die Versuchstiere werden in ein zylinderförmiges, weithalsiges Gefäß (11) von etwa 20 cm Länge und 3 cm Weite eingeführt. In dieses wird vor Beginn des Versuches rund 10 ccm Rüböl eingegossen, damit die Tiere nicht etwa durch Entleerung von Kot das Experiment stören. Frisch entleerter Kot fällt durch die Maschen eines Drahtnetzes, auf dem sich die Versuchstiere befinden, herunter und versinkt im Öl wodurch er vor Wasserverdunstung geschützt ist (über Undurchlässigkeit der Rübölschicht für Wasserdampf siehe I. Mitt.). Diese Massnahme war aber eigentlich nicht nötig, weil meine Versuchstiere fast keinen Kot ausschieden, da ihnen 12 Stunden vor dem Experiment keinerlei Nahrung verabreicht wurde.

Der Tierbehälter hat einen dreifach durchbohrten Gummistopfen, in dem ein Thermometer und zwei Glasröhrchen, die zum Luftein- bzw. -austritt dienen sollen, angebracht sind.

Nach Bedeckung mit einem ebenfalls zylinderförmigen aus Kupferblech gemachten Kasten (12) etwa von gleicher Größe wie der Tierbehälter wird dieser in ein Wasserbad (13) eingetaucht, um beliebige Temperaturen auf die Tiere einwirken zu lassen. In dieser Weise kann man die Gewichtsänderungen des Tierbehälters während jedes Experiments ohne Benetzung der Behälterwand in dem gleichen Zustand wie mit Versuchstieren bestimmen.

Die Befreiung der einzuströmenden Luft von Kohlensäure wird mittels mit Natronkalk gefüllter Trockentürme erreicht (1, 2 u. 5, 6). Der zur Füllung benutzte Natronkalk war frisch und etwas wasserhaltig, um die  $\text{CO}_2$ -Absorption zu vervollkommen. Dann tritt die aus 1 und 2 herauskommende Luft in zwei gleiche Türme 3 und 4 ein, die beide mit Schwefelsäure getränkten Asbest enthalten, wodurch sie ganz trocken wird. Andererseits geht die durch Türme 5 und 6 passierte Luft durch zwei hinter diesen stehende mit destilliertem Wasser

gefüllte Waschflaschen (7 u. 8) hindurch, in denen sie mit Wasserdampf gesättigt wird.

Die beiden  $\text{CO}_2$ -freien Luftströme, ein trockener und ein feuchter, vereinigen sich im Y-Rohr, und werden darauf durch ein spiralförmiges Kupferrohr (9), in dem die Luft die Temperatur des Wasserbades (13) annimmt, in einen Zylinder (10) geleitet, den ich „Hygrometerzylinder“ nenne. Durch einen Gummistopfen ist in diesen Zylinder ein Stichhygrometer (Fueß-Berlin) mit einem 25 cm langen Schaft eingeführt, in dessen Hohlraum sich eine Haarschlinge befindet, durch deren Längenänderungen der Feuchtigkeitsgehalt der einströmenden Luft an einer Skalaplatte, die ausserhalb des Hygrometerzylinders mit dem Schaft rechtwinklig verbunden ist, abgelesen werden kann.

Um die Luft in dem Hygrometerzylinder und fernerhin in der Respirationskammer bei beliebiger konstanter Feuchtigkeit halten zu können, verwendete ich, wie bereits in der ersten Mitteilung erwähnt, zwei Gummiröhren (in den Klemmschrauben  $\text{KS}_1$  und  $\text{KS}_2$ ), durch die die beiderlei Luftströme geleitet wurden. Bei dieser Methode bedient man sich der Handregulation, daher erscheint sie etwas grob, sie liefert aber bei einiger Übung und bei sorgfältigem Arbeiten ziemlich genaue Resultate. Mittels dieser Methode konnte die relative Feuchtigkeit der Versuchsluft mit einer Maximalschwankung von  $\pm 1.5\%$  reguliert werden.

Der Tierbehälter ist nach der anderen Seite hin mit zwei Chlorkalziumkörnchen enthaltenden Doppel-U-Röhren (14 u. 15) versehen, deren Differenz im Gewicht am Beginn und am Ende des Versuches festgestellt wird. (Das benutzte Chlorkalzium stellt stark wasserabsorbierende Kriställchen dar, die vorher bei  $800^\circ\text{C}$  geschmolzen und abgekühlt worden sind.) Diese Differenz gibt das Gewicht des von den Tieren transpirierten Wassers an, vermehrt um das Gewicht des Wasserdampfes, der in der durchaspirierten Luft enthalten war. Dieses muß demnach, wenn nur das transpirierte Wasser zu ermitteln ist, in Abzug gebracht werden. Seine Größe wird dadurch festgestellt, daß man in einem Parallelversuch ein bestimmtes Quantum derselben Luft für die Zeitdauer des Respirationsversuches durch Chlorkalzium-

röhrchen streichen lässt und deren Gewichtszunahme dann ermittelt.

Die in Gefäßen 14 u. 15 wasserfrei gewordene Luft wird dann in einen Geissler'schen Kaliapparat (16), dessen Kugeln mit zur  $\text{CO}_2$ -Absorption dienender 50 Proz. Kalilauge gefüllt sind, hineingeführt, und dann in ein dahinter eingeschaltetes kleines Chlorkalziumrohr geleitet, das die aus dem Apparat eventuell hinaustretende Feuchtigkeit auffangen soll. Die Gewichtsänderung dieser beiden Gläser während des Versuches gibt die Menge der von den Tieren abgegebenen Kohlensäure an.

Das Durchsaugen des Luftstromes wird mit einer Wasserstrahlpumpe (20) bewerkstelligt. Um bei Verwendung dieser Pumpe den Luftstrom regulieren zu können, gebrauchte ich den gleichen Apparat 19, den ich schon in Abb. 2 meiner ersten Mitteilung dargestellt habe. Die Geschwindigkeit der durchziehenden Luft wird mit Hilfe eines Spirometers (18) ermittelt.

In der Praxis ist zu berücksichtigen, daß die Körpertemperatur der Tiere sich mit der des Wasserthermostates nicht sofort ausgleicht, nachdem der Tierbehälter in ihm eingetaucht wurde. Bei meinen Insekten dauerte es etwa 20–30 Minuten. Daher bringen derartige Messungen ohne Zweifel einige Fehler mit sich gegen die echten Werte von  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  wie auch, indirekt, von  $\text{O}_2$ , um deren Feststellung es sich bei der gegebenen Temperatur handelt. Da aber in Wirklichkeit die Gewichtsbestimmung des Tierbehälters unmöglich ist, nachdem ein Ausgleich der Körpertemperatur der Tiere mit der des Thermostates stattgefunden hat, begann ich die Versuche immer bald nach dem Unterbringen des Behälters im Wasserbad. Da meine Versuche sich immer auf 5 Stunden erstreckten, glaube ich, daß der Fehler, der auf der Ungleichheit der Temperatur zwischen Tierkörper und Wasserbad während nur 20–30 Minuten beruhte, keinen nennenswerten Einfluß auf die gesamte Ermittlung haben konnte.

## II. Kalorimeter

Kalorimeter dienen im allgemeinen zur Bestimmung der Wärmeproduktion und Wärmeabgabe. Sie konnten aber in meinem Falle, bei

der Ermittlung der Wärmeproduktion nicht immer verwendet werden. Nur um die Frage zu entscheiden, ob unsere Versuchstiere ihre Wärme durch Strahlung und Leitung abgeben, konnte ich von einem Kalorimeter Gebrauch machen, der eine Modifikation des elektrischen Kompensationskalorimeters von BOHR und HASSELBALCH darstellte. Dieser wurde von ihnen (1903) zur Bestimmung der Wärmebildung des wachsenden Hühnerembryos benutzt und war so eingerichtet, daß ganz kleine Wärmemengen bei verschiedenen Temperaturen und Feuchtigkeiten der ventilierenden Luft nachgewiesen werden konnten. Bei der Konstruierung dieses Apparates hat mir die Anleitung von HÁRI (1925) sehr gute Dienste geleistet.

Der Apparat ist in Abb. 2 schematisch dargestellt.

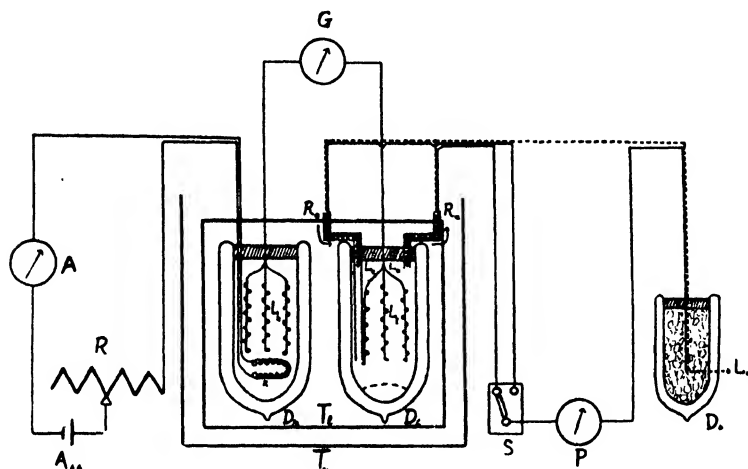


Abb. 2.

Schematische Darstellung des von mir gebrauchten elektrischen Kompensationsmikrokalorimeters. Erklärung im Text.

In einem ( $D_1$ ) von zwei gleichen Dewar'schen Hohlzylindern (Durchmesser 10 cm, Länge 20 cm) werden die Tiere, in dem anderen ( $D_2$ ) eine Widerstandsspirale (K) aus Konstantandraht untergebracht, durch welche letztere ein elektrischer Strom zur Herstellung der Kompensationswärme gesendet werden kann. Gegen beide Wärmemengen, die von den Tieren und die von der Kompensationsspirale durch

Strahlung und Leitung an beide Hohlzylinder abgegebene, sind zwei Lötstellen ( $L_l$  u.  $L_k$ ) eines mehrfachen Thermoelements empfindlich, die sich in beiden Hohlzylindern an entsprechenden Stellen befinden, wie die Figur zeigt. Die von mir benutzte Thermosäule besteht aus 30 Paaren feiner Konstantan- und Kupferdrähte (beides von BS Nr. 36). Die vermutliche Empfindlichkeit beträgt etwa  $0.0001^\circ\text{C}$  pro mm einer Glasskala, die in der Entfernung von 1 m vor dem Galvanometerspiegel aufgestellt wird, nach Verbindung mit einem Leed- und Northrup'schen Galvanometer (Typus R. Empfindlichkeit 0.003 Mikroampere pro mm der Skala).

Wird nun dieses Thermoelement durch die von den Tieren abgegebene Wärme einseitig an der Lötstelle  $L_l$  erwärmt, so entsteht ein Thermostrom, der an einem in die Kupferdrahtleitung eingeschalteten oben geschilderten Spiegelgalvanometer (G) abgelesen werden kann. Erzeugt man dann Wärme in der Widerstandsspirale aus einem Akkumulator ( $A_{kk}$ ), so wird die Lötstelle ( $L_k$ ) im anderen Hohlzylinder erwärmt, und es entsteht ein entgegengesetzt gerichteter Thermostrom. Erwärmt man aber gleichzeitig beide Hohlzylinder, so wird die Richtung des Galvanometerausschlages davon abhängen, welche der beiden Wärmequellen das Übergewicht hat; bzw. man wird den Strom in der Widerstandsspirale auf eine Intensität einstellen können, bei der ein Thermostrom überhaupt nicht entsteht. Um diesen Zweck erreichen zu können, d. h. um einen beliebigen elektrischen Strom zur Spirale senden zu können, werden ein Rheostat (R) und ein Präzisionsmilliamperemeter (A) verwendet, die beide in die Drahtleitung zwischen dem Akkumulator und der Spirale eingeschaltet sind. Ist dieser Zustand erreicht, so ist die von den Tieren durch Strahlung und Leitung abgegebene Wärme gleich der, die in der Widerstandsspirale erzeugt wurde, vorausgesetzt, dass die Lötstellen in beiden Hohlzylindern durch dieselbe Wärmemenge gleich stark erwärmt werden. Dies ist das Grundprinzip der „elektrischen Kompensationskalorimetrie.“

Die Einrichtung des Apparates, der zur Ventilation des Zylinders, in dem die Versuchstiere sich befinden, und der Regulation sowie Messung der Ventilationsluft dient, ist ganz gleich der des Apparates,



den ich schon bei dem Respirationsapparat (s. Abb. 1 dieser Mitt.) dargestellt habe. Die zur Herstellung und Regulation von Lufttemperaturen und -feuchtigkeiten dienende Vorrichtung ist dieselbe wie die später bei der Temperaturmessung (Abb. 3) beschriebene. Daher will ich hier von einer näheren Beschreibung der Ventilationseinrichtungen absehen.

Die zur Erwärmung der Ventilationsluft verwendete Wärme, nämlich die gesamte durch die Tiere produzierte Wärmemenge, die bei der Ventilation vom rechten Zylinder nach aussen abgegeben wird, wird durch die Temperaturdifferenz zwischen der ein- und der austretenden Luft ermittelt. Diese wird mittels der Lötstellen  $L_e$  und  $L_a$  zweier verschiedener Thermoelemente bestimmt, deren anderes Ende mit einer Lötstelle  $L_0$  verbunden ist, die sich in einer mit Eis gefüllten Thermosflasche ( $D_0$ ) befindet. Die Lötstelle  $L_e$  befindet sich im Zuleitungsrohr ( $R_e$ ) und die andere,  $L_a$ , in dem Ableitungsrohr ( $R_a$ ) für die Ventilationsluft. Jeder Thermostrom, der zwischen  $L_e$  und  $L_0$  und zwischen  $L_a$  und  $L_0$  erzeugt wird, wird mittels eines Potentiometers ( $P$ ) dadurch ermittelt, daß man eine Schaltvorrichtung ( $S$ ) wechselnd einschaltet.

Zwei Hohlzylinder,  $D_i$  und  $D_k$ , werden mit parallelen Längsachsen im Inneren eines Luftkastens ( $T_i$ ) aus Kupferblech aufgestellt, dessen Temperatur mittels eines Wasserthermostates ( $T_w$ ), in dem der Luftkasten aufgehängt ist, mit einer Genauigkeit von  $0.01^\circ\text{C}$  konstant gehalten werden kann.

Diejenigen Teile des Apparates, die aus den beiden Zylindern hinaustreten und unmittelbar der freien Luft ausserhalb des Luftbades exponiert sind, z. B. die Leitungsdrähte der Thermoelemente und der Kompensationswiderstandsspirale, die Glasröhren für Ventilation u. s. w. sind selbstverständlich mit dicht gewundener Asbestschnur von der äusseren Luft isoliert.

Vor dem Anfang jedes Versuches werden beide Hohlzylinder und die Versuchstiere im Luftbad etwa 30 Minuten lang gehalten, damit sie die Temperatur des Luftbades annehmen; dann werden die Tiere in dem für sie bestimmten Zylinder untergebracht. Die beiden

Zylinder werden auch im Inneren des Luftbades mit Korkstöpseln verschlossen. Der Raum zwischen Kork und Zylinderwand wird mit Wollfett abgedichtet. Die Temperatur der Luft der beiden Zylinder gleicht sich nach 20-30 Minuten dauernder Durchführung der Luft von gegebener Beschaffenheit mit der des Luftbades vollständig aus.

Die von den Tieren durch Strahlung und Leitung an die ventilierende Luft des rechten Hohlzylinders abgegebene Wärme wird durch die im Widerstande des linken Zylinders erzeugte Wärme in der Regel nicht vollkommen kompensiert, diese kann jedoch nach HÄRI auf Grund der nachstehenden Gleichung genau berechnet werden.

$$W_{t+s} = \underbrace{\left\{ \gamma \frac{0.239 i^2 R t}{a} \right\}}_a + \underbrace{\alpha (g_2 - g_1)}_b + \underbrace{\beta \int_{t_1}^{t_2} g dt}_c + \left\{ V_i D S_i (T_a - T_c) \right\}$$

Die Formel in der zweiten grossen Klammer stellt die zur Erwärmung der Ventilationsluft verwendete Wärme dar, und die in der ersten Klammer die im Tierzylinder übriggebliebene Wärme. Das erste Glied a gibt die im Kompensationswiderstand erzeugte Joule'sche Wärme in Gramkalorien während der Versuchsdauer an;  $i$  bedeutet den gesendeten elektrischen Strom in Ampere,  $R$  den Widerstand in Ohm,  $t$  die in Sekunden ausgedrückte Versuchsdauer und  $\gamma$  eine Konstante, die einen Korrektionsfaktor repräsentiert, der von den Wärmekapazitäten der beiden Dewar'schen Zylinder  $D_i$  und  $D_k$  und der Thermolötstellen,  $L_i$  und  $L_k$ , abhängt. Das zweite und dritte Glied, b und c, sind Korrektionsglieder, und haben folgende Bedeutung: Die Wärmeabgabe der Versuchstiere ist stets Schwankungen unterworfen; dementsprechend wird, so oft man auch die Intensität des Akkumulatorstromes mit Hilfe des Rheostates ändert, der Zustand der vollkommenen Kompensation nur ausnahmsweise und nur für kurze Zeit erreicht. Meistens gibt das Galvanometer einen geringeren oder grösseren Ausschlag; daher muß eine entsprechende Menge Wärme als Korrektion zu der aus dem Kompensationsstrom berechneten Hauptwärmemenge hinzugeaddiert bzw. von ihr abgezogen werden. Das Glied b stellt die Wärme-

korrektur dar, die dem Galvanometeraussschlag ( $g_2 - g_1$ ) entspricht, der durch Schwankungen der tierischen Wärme entsteht. Dabei ist  $\alpha$  die Proportionalitätskonstante der Schwankungen der tierischen Wärme zum Galvanometeraussschlag, d. h.

$$\alpha = \frac{\text{Zuwachs od. Abfall der tierischen Wärme}}{g_2 - g_1}.$$

Dann muß man noch eine Korrektur der Kompensationswärme vornehmen, die mit dem konstanten während einer bestimmten Zeitdauer ( $t$ ) festgehaltenen Galvanometeraussschlag aus seiner Nullstellung ( $g$ ) korrespondiert, der auf ein Plus oder Minus der tierischen Wärme über die tatsächlich am Kompensationswiderstand erzeugte Wärme zurückzuführen ist. Dieses Wärmeplus oder -minus ist auszudrücken als  $\beta gt$ , wobei  $\beta$  einen bloß von der Empfindlichkeit des Galvanometers und vom Abstände zwischen Galvanometerspiegel und Skala abhängigen Proportionalitätsfaktor darstellt. Das Wärmeplus oder -minus läßt sich aber auch im Falle berechnen, wenn, wie fast immer im Tierversuche,  $g$  nicht konstant ist; man braucht eben nur  $g$  durch den Ausdruck  $\int_{t_1}^{t_2} g dt$ , d. h. durch die Summe aller Ausschläge zu ersetzen, die innerhalb der Versuchsdauer  $t_1$  bis  $t_2$  während je einer unendlich geringen Zeitdauer  $dt$  als konstant anzusehen sind. D. h., aus der Gleichung

$$\text{Wärmeplus od. Minus} = \beta \int_{t_1}^{t_2} g dt$$

$$\text{wird} \quad \beta = \frac{\text{Wärmeplus od. Minus}}{\int_{t_1}^{t_2} g dt}$$

Aus einer grösseren Anzahl von Bestimmungen gewann ich die folgenden Mittelwerte von Konstanten, mit denen in meinen Tierversuchen stets gerechnet wurde.

Kapazitätskorrektur  $\gamma = 1.104$

Kompensationskorrektur

Konstante  $\alpha = 0.0121$

Konstante  $\beta = 0.000673$

Die Empfindlichkeit meines Kalorimeters für die durch Strahlung und Leitung abgegebene Wärme ist ausserordentlich hoch, denn der Wert der Konstanten  $\beta$ , die die Empfindlichkeit des Kalorimeters repräsentiert, ist so klein wie 0.000673, d. h. durch eine abgegebene Wärmemenge von 0.000673 g-cal. pro Minute wird ein Galvanometerausschlag von 1 mm erzeugt.

Der Widerstand der Kompensationswiderstandsspirale, zu der meistens Ströme von weniger als 30 Milliampere gesandt wurden, war immer 8.31 Ohm.

Man kann durch die Ausdrücke in der nachstehenden grossen Klammer der schon angeführten Gleichung die Menge der tierischen Wärme, die durch Ventilation nach aussen abgegeben wird, berechnen. Dabei stellt  $V$ , das während der ganzen Versuchsdauer durch den Tierbehälter gestrichene Luftvolumen,  $D$  die Luftdichte,  $S$ , ihre spezifische Wärme und  $T_a - T_e$  die Temperaturdifferenz zwischen ein- und ausströmender Luft dar.\*

### III. Messungen der Körpertemperatur

Die Körpertemperatur wurde in der Bauchhöhle und an der Haut mit Hilfe einer thermoelektrischen Vorrichtung gemessen. Abb. 3 gibt eine schematische Darstellung der von mir gebrauchten Vorrichtung.

Das Versuchsinsekt wird in einem zylindrischen Glasbehälter (Durchmesser 6 cm, Tiefe 15 cm), der sich in einem Wasserbad (7) befindet, auf einer etwa 1 cm dicke Korkplatte auf den Rücken gelegt; die sechs Beine und die Brust werden mit verkehrt U-förmig gebogenen Stecknadeln festgehalten.

Zur Bestimmung der Bauchhöhlentemperatur wurde die thermoelektrische Nadel  $L$ , vorsichtig in den Enddarm des Insekts eingeführt und bis in den vorderen Teil der Bauchhöhle vorgeschoben, was ohne fühlbaren Widerstand möglich war; wenn der Darm dabei auch ver-

\* Ich möchte bei dieser Gelegenheit Herrn Prof. Dr. K. Matsuno, Direktor des theoretisch-chemischen Instituts unserer Universität, und Herrn Dr. Y. Kitano an dem gleichen Institut für die stets freundliche Anleitung und Unterstützung bei der kalorimetrischen Untersuchung meinen herzlichsten Dank aussprechen.

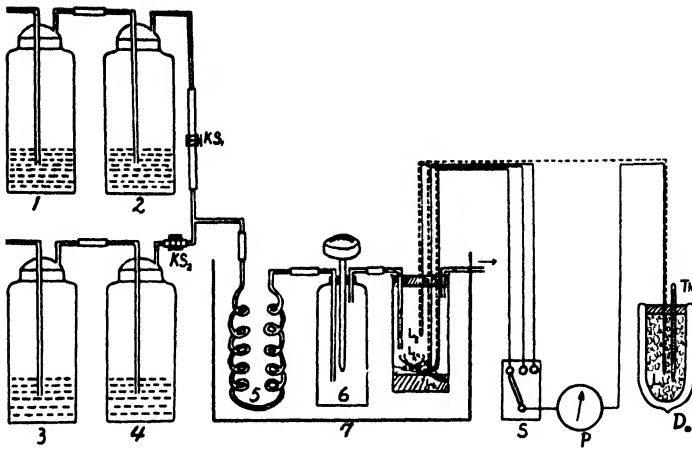


Abb. 3.

Schematische Darstellung des von mir bei verschiedener Lufttemperatur und Feuchtigkeit gebrauchten Apparates für die Bestimmung der Körpertemperatur. Erklärung im Text.

letzt wurde, so konnte ich doch keine besondere Schädigung beobachten. Der Teil des Thermoelements, der direkt mit dem Körper der Tiere in Berührung kommt, wird selbstverständlich durch eine feine Glaskapillare geschützt.

Bei der Messung der Hauttemperatur wurde die Lötstelle  $L_h$  des Thermoelements mit einer Stelle der Abdominalhaut an der ventralen Seite in Berührung gebracht.

Es ist nicht nötig zu sagen, daß bei diesen Untersuchungen, ebenso wie bei den respiratorischen, ein Luftstrom von bestimmter konstanter Temperatur und Feuchtigkeit durch den Tierbehälter ständig durchgeleitet wird. Diese Ventilationsvorrichtung ist die gleiche wie die bei den Respirations- bzw. Transpirationsversuchen gebrauchte (vgl. Abb. 1 dieser Mitt. und auch Abb. 1 der 1. Mitt.). Zwei Waschflaschen 1 und 2 enthalten konzentrierte Schwefelsäure, zwei andere (3 und 4) dagegen destilliertes Wasser.

Die Temperatur der durchzuführenden Luft gleicht sich im Verlauf der Strömung durch ein spiralförmiges Kupferrohr (5) und einen dahinter stehenden Hygrometerzylinder (6) mit der Temperatur des Wasserbades aus, dessen Temperatur stets auf 0.01 C konstant gehalten

ten wurde. Trotzdem zeigte die Luft in dem Tierbehälter immer Schwankungen von etwa  $0.05^{\circ}\text{C}$ , daher wurde jedesmal auch die Lufttemperatur mittels einer dritten Thermonadel  $L_3$ , deren Spitze sich etwa 1 cm über dem Tierkörper befindet, geprüft. Diese drei Thermolötstellen, deren andere Enden mit einer Lötstelle  $L_0$  zusammen gelötet sind, werden mit einem Potentiometer (P) in Verbindung gebracht, mittels dessen der der Temperaturdifferenz entsprechende Thermostrom abgelesen werden kann.

Die Vorrichtungen, die zur Ventilation des gesamten Apparates und zur Regulation sowie Messung der Ventilationsluft dienen, sind dieselben wie die in Abb. 1 gegebenen.

Die Bestimmung der Temperatur der Bauchhöhle und der Haut wurde immer nach 30 Minuten langem Aufenthalt der Tiere im Behälter ausgeführt, da bei unserem Geradflügler der Ausgleich der Temperatur mit derjenigen der neuen zu untersuchenden Luft in den meisten Fällen 15–25 Minuten (vgl. IX. Mitt.) erforderte.

#### D. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

Alle Bestimmungen, nämlich die des  $\text{O}_2$ -Verbrauches, der  $\text{CO}_2$ -Produktion, der  $\text{H}_2\text{O}$ -Ausscheidung, der Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung und der Bauchhöhlen- und Hauttemperatur wurden bei 9 Kombinationen der Temperaturen von 10, 20 und  $30^{\circ}\text{C}$  mit den relativen Feuchtigkeiten von 30, 60 und 90% ausgeführt. Die Geschwindigkeit der Luftströmung durch alle Apparate war immer 800 ccm pro Minute. Die respiratorischen und kalorimetrischen Untersuchungen wurden alle an 10 ausgewachsenen Tieren, die ein ähnliches Körpergewicht besaßen, in Einzelversuchen ausgeführt; jeder Versuch wurde dreimal wiederholt. Im Gegensatz dazu wurde die Körpertemperatur zu jedem Versuche bei je 10–15 Insekten gemessen. Aus allen so gewonnenen Resultaten wurden Mittelwerte errechnet und nur diese werden mitgeteilt.

##### I. $\text{O}_2$ -Verbrauch und $\text{CO}_2$ -Produktion

In der nachstehenden Tabelle sind die Mittelwerte für den  $\text{O}_2$ -Verbrauch und die  $\text{CO}_2$ -Produktion verzeichnet.

TABELLE 1.

O<sub>2</sub>-Verbrauch, CO<sub>2</sub>-Produktion, H<sub>2</sub>O-Abgabe und respiratorischer Quotient bei *Gastrimargus transversus* THUNBERG.

Temp. °C	Rel. Feucht. %	Körper- gewicht g	O <sub>2</sub> -Ver- brauch in 5 Std. g	CO <sub>2</sub> -Pro- duktion in 5 Std. g	H <sub>2</sub> O- Abgabe in 5 Std. g	O <sub>2</sub> p. Kg. u. Std. g	CO <sub>2</sub> p. Kg. u. Std. g	Resp. Quot.	H <sub>2</sub> O p. Kg. u. Std. g
10	30	20.7234	0.0337	0.0969	0.5423	0.9107	0.9349	0.713	5.2236
	60	20.6241	0.0387	0.0954	0.4178	0.9491	0.9397	0.720	4.0513
	90	21.5618	0.1058	0.1015	0.3108	0.9309	0.9415	0.698	2.8324
20	30	21.1239	0.2202	0.2225	1.5331	2.0852	2.1036	0.735	14.5194
	60	20.3639	0.2219	0.2146	1.4045	2.1205	2.1051	0.722	12.8117
	90	20.9839	0.2203	0.2210	0.7188	2.1465	2.1106	0.715	7.3256
30	30	20.8542	0.4021	0.3538	5.4936	3.8548	3.8711	0.728	29.6833
	60	21.0314	0.4221	0.4241	2.6287	4.0200	4.0389	0.731	25.0334
	90	21.0123	0.4197	0.4126	1.7125	3.9934	3.9272	0.714	16.2995

a) Temperatureinfluß. Aus der Tabelle geht hervor, daß der Gaswechsel unserer Insekten mit steigender Temperatur zu- und mit fallender abnimmt. Diese Verhältnisse stimmen durchaus damit überein, was von verschiedenen Forschern bis jetzt bei anderen Kaltblütern gefunden worden ist, aber stehen in völligem Widerspruch zu den Befunden bei Warmblütern, bei denen der Stoffwechsel bei niedriger Temperatur intensiver ist als bei höherer. Der van't Hoff'sche Temperaturquotient für diese Gaswechselintensität lag im grossen und ganzen zwischen 2 und 3, wie es bei der Reaktionsgeschwindigkeit der unbelebten Materie der Fall ist; daraus geht hervor, daß die

TABELLE 2.

Temperaturquotient Q<sub>10</sub> des respiratorischen Gaswechsels von *Gastrimargus transversus* THUNBERG.

Feuchtigkeit	O <sub>2</sub> - Verbrauch			CO <sub>2</sub> - Produktion		
	30%	60%	90%	30%	60%	90%
10-20°C	2.27	2.23	2.19	2.25	2.24	2.24
20-30°C	1.85	1.90	1.86	1.84	1.91	1.86

Temperatur der umgebenden Luft einen doppelt bis dreifach so grossen Einfluß auf die Atmung dieser Insekten ausübt, wie aus der vorstehenden Tabelle ersehen werden kann.

b) Feuchtigkeitseinfluß. Die Frage, ob der Feuchtigkeitsgehalt der Luft den Stoffwechsel der darin lebenden Kaltblüter beeinflusse, ist bisher, im Vergleich mit den Studien über die Temperaturwirkung, fast nicht beachtet worden. Wenn wir aber berücksichtigen daß die Wasserdampfabgabe der Tiere in sehr hohem Grade von der Luftfeuchtigkeit abhängig ist (vgl. v. Mitt.) und daß besonders bei poikilothermen Tieren fast die ganze durch den Stoffwechsel verursachte Wärme dadurch nach aussen abgegeben werden kann, so ist es leicht zu verstehen, daß die Erforschung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit auf den respiratorischen Gasaustausch bei den Studien des Wärmehaushaltes der Tiere, besonders der wechselwarmen Tiere, unentbehrlich ist, denn aus der Grösse des Atemgaswechsels kann die Menge der im Körper erzeugten Stoffwechselwärme ermittelt werden.

Die Einzelheiten über diese Feuchtigkeitwirkung auf den  $O_2$ -Verbrauch bzw. die  $CO_2$ -Produktion unserer Insektenart sind auch aus der vorstehenden Tabelle 1 zu ersehen.

Bei  $10^\circ C$  war die  $O_2$ -Aufnahme und auch die  $CO_2$ -Abgabe umso grösser, je höher die Feuchtigkeit. Bei  $20^\circ C$  war die  $O_2$ -Aufnahme, ebenso wie bei  $10^\circ$ , stärker bei höheren Feuchtigkeiten als bei niedrigeren, dagegen die  $CO_2$ -Menge eher grösser bei 30% rel. Feucht. als bei 60%, am grössten aber bei 90%. Bei  $30^\circ C$  waren die Mengen der beiden Gase bei 60% rel. Feucht. am grössten, aber bei 30% kleiner als bei 90%. Aus den obigen einzelnen Ergebnissen kann man den allgemeinen Schluss ziehen, daß der Atmungs gaswechsel, im Gegensatz zur Wasserdampfausscheidung, mit der steigenden Luftfeuchtigkeit eine Tendenz zum Zunehmen hat. Diese Abhängigkeit ist aber sehr geringfügig im Vergleich mit der der Wasserverdunstung.

## II. Wasserdampfabgabe

Die Schwankungen der Temperatur sowie der relativen Luft-



feuchtigkeit drücken sich auch sehr deutlich in der Wasserdampf-  
abgabe unserer Tiere aus. Diese nimmt zu mit dem Steigen der Tem-  
peratur, und mit der Verminderung der Luftfeuchtigkeit (s. Tab. 1).  
Die Ergebnisse an unserem Geradflügler zeigen demnach eine vollkom-  
mene Übereinstimmung mit den Befunden an Puppen von *Milionia*  
*zonea* MOORE oder Larven von *Clania variegata* SNELLEN, die schon  
in der IV. und V. Mitt. dieser Studien besprochen worden sind.

### III. Beziehungen der O<sub>2</sub>-Aufnahme, CO<sub>2</sub>-Abgabe und H<sub>2</sub>O- Ausscheidung zur Lufttemperatur und -feuchtigkeit

a) Beziehungen zur Temperatur. Da die Grösse des respira-  
torischen Gaswechsels und der Transpiration die produzierte bzw.  
abgegebene Wärme der Tiere, besonders bei wechselwarmen Tieren,  
repräsentiert, ist es vom wärmeökonomischen Standpunkt aus sehr  
wichtig, die Beziehungen zwischen den O<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Mengen und  
der Temperatur miteinander zu vergleichen. Wenn die Mengen von  
O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O bei 10° C=1 gesetzt werden, so sind die entsprechen-  
den Werte bei 20° und 30° wie folgt.

TABELLE 3.

Verhältniszahlen der Temperaturabhängigkeit des respiratorischen Gaswechsels  
und der Wasserdampf-abgabe bei *Gastrimargus transversus* THUNBERG.

Rel. Feucht. %	Temp. °C	O <sub>2</sub> - Verbrauch	CO <sub>2</sub> - Produktion	H <sub>2</sub> O- Abgabe
30	10	1	1	1
	20	2.29	2.25	2.78
	30	4.23	4.14	5.68
60	10	1	1	1
	20	2.23	2.24	3.16
	30	4.24	4.30	6.18
90	10	1	1	1
	20	2.19	2.24	2.54
	30	4.03	4.17	5.65

Obgleich bei allen Feuchtigkeiten sich eine bedeutende Zunahme des respiratorischen Gaswechsels sowie auch der Wasserdampfabgabe bei der Steigerung der Temperatur zeigt, sind die Verhältniszahlen indessen bei beiden Vorgängen keineswegs einander gleich. Die Zunahme des  $O_2$ -Verbrauches und der  $CO_2$ -Produktion beträgt bei  $20^\circ$  2.2–2.3 mal so viel wie bei  $10^\circ$  und 4.1–4.3 mal so viel bei  $30^\circ$ , die der  $H_2O$ -Ausscheidung hingegen bei  $20^\circ$  2.5–3.2 mal so viel wie bei  $10^\circ$  und bei  $30^\circ$  5.5–6.2 mal so viel. Die zunehmende Wasserabgabe ist ungefähr 1.2–1.4 bzw. 1.2–1.9 mal so gross wie bei dem Atmungs-gasaustausch bei  $20^\circ$  bzw.  $30^\circ$ .

b) Beziehungen zur Feuchtigkeit. Bei allen Temperaturen steigen die  $O_2$ - und  $CO_2$ -Mengen mit zunehmender relativer Feuchtigkeit, aber sie sind so gering, daß sie fast unberücksichtigt bleiben können. Ganz anders ist aber die Beziehung bei der Wasserdampf-abgabe. Ihre Grösse ist in sehr hohem Grade abhängig von der Luft-feuchtigkeit. Setzen wir die ausgeschiedene Menge von Wasserdampf bei relativer Feuchtigkeit von 30% = 1, so sind die entsprechenden

TABELLE 4.

Verhältniszahlen der Feuchtigkeitsabhängigkeit des respiratorischen Gaswechsels und der Wasserdampfabgabe bei *Gastrimargus transversus* THUNBERG.

Temp. °C	Feucht. %	$O_2$ - Verbrauch	$CO_2$ - Produktion	$H_2O$ - Abgabe
10	30	1	1	1
	60	1.04	1.01	0.78
	90	1.08	1.01	0.55
20	30	1	1	1
	60	1.02	1.00	0.88
	90	1.03	1.00	0.50
30	30	1	1	1
	60	1.04	1.04	0.84
	90	1.03	1.01	0.55

Werte für 60% ungefähr 0.8–0.9 und 0.5–0.55 für 90% bei jeder Temperatur. Die einzelnen Zahlen enthält Tabelle 4.

#### IV. Körpertemperatur

Die Körpertemperatur wurde in der Bauchhöhle und an der Haut nach der thermoelektrischen Methode bei je 10–15 abgezählten Tieren ermittelt. In der nachstehenden Tabelle sind nur die durchschnittlichen Differenzen der Temperatur zwischen den Tieren und der Versuchsluft eingetragen. Dabei stellt + den Temperaturüberschuß der Insekten über die Lufttemperatur und – das umgekehrte Verhältnis dar.

TABELLE 5.  
Differenz in der Temperatur zwischen dem Körper von  
*Gastrimargus transversus* THUNBERG und der Umgebungsluft.

Temp. °C	Feucht. %	Differenz	
		Bauchhöhle	Haut
10	30	+0.47	+0.32
	60	+0.63	+0.49
	90	+1.28	+1.17
20	30	–0.38	–0.63
	60	+0.44	+0.36
	90	+0.47	+0.44
30	30	–1.52	–1.80
	60	–0.19	–0.35
	90	+0.87	+0.64

a) Bauchhöhlentemperatur. Die richtigste Temperatur muss die Bauchhöhle zeigen, da diese die innersten Körperteile repräsentiert. Aus der eben angeführten Tabelle geht hervor, daß die Bauchhöhlentemperatur dieses Geradflüglers in der Ruhe im grossen und ganzen der Temperatur der umgebenden Luft folgt. Im einzelnen ist aber die Beziehung anders, die Übereinstimmung zwischen den beiderlei

Temperaturen ist nämlich nicht so exakt, da kleinere oder grössere Schwankungen vorkommen, je nach der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Bei 10°C war die Körpertemperatur immer höher als die der umgebenden Luft, ungeachtet der Luftfeuchtigkeit. Bei 20° war hingegen die Körpertemperatur niedriger als die der Luft bei rel. Feucht. von 30%, und bei 60% und 90% rel. Feucht. die erstere höher. Bei 30° haben die Insekten, 90% rel. Feucht. ausgenommen, stets eine niedrigere Temperatur als die Umgebungsluft.

Aus diesen Tatsachen kann man schliessen, daß die Temperatur in der Bauchhöhle bei feuchter Luft immer höher ist als bei trockener, und auch bei niedrigeren Umgebungstemperaturen ist die Körpertemperatur stets höher als die der Luft. Bei höheren Umgebungstemperaturen ist aber bei feuchter bzw. trockener Luft die erstere niedriger als die letztere.

b) Hauttemperatur. Die Beziehungen der Hauttemperatur zur Temperatur und Feuchtigkeit der umgebenden Luft sind ungefähr dieselben wie die der Bauchhöhlentemperatur. Im Vergleich mit der letzteren ist die Hauttemperatur aber immer niedriger, daher ist der Überschuß der Haut- über die Lufttemperatur immer kleiner und das Temperaturdefizit dagegen immer grösser als bei der Bauchhöhlentemperatur. Die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Umgebungsluft ist demgemäß in trockener Luft auffallender als in feuchter Luft. Die Ursache hierfür ist in der intensiven Abkühlung der Körperoberfläche infolge von Wasserverdunstung zu suchen.

## V. Wärmeproduktion

Die durch den Stoffwechsel im lebenden Organismus erzeugte Wärme kann durch das kalorimetrische Verfahren unmittelbar ermittelt werden, mit dessen Hilfe sie als die vom lebenden Körper durch Strahlung, Leitung und Transpiration abgegebene Wärmemenge ausgedrückt wird. Diese direkte Methode ist daher in den Fällen, in welchen der Körper weder durch Strahlung noch durch Leitung Wärme abgibt, unbrauchbar. Da mein Versuchsmaterial einen derartigen Fall darstellt, war ich auf die indirekte Kalorimetrie angewiesen. Dieser

liegt das Prinzip zugrunde, daß die Aufnahme von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlensäure auf dem Wege der Atmung der sichtbare Ausdruck für die im Organismus sich abspielenden Verbrennungsvorgänge sind, d. h. daß jedem verbrauchten Molekül Sauerstoff eine bestimmte energieliefernde Oxydationsleistung entspricht und dass dementsprechend das Quantum der abgegebenen Kohlensäure zur Berechnung des durch Oxydation gelieferten Energieäquivalenten herangezogen werden kann. Da nach ZUNTZ der kalorische Wert des Sauerstoffs und der Kohlensäure von der Art der im Körper verbrennenden Stoffe abhängt, und zwar von der Art derjenigen Substanzen, welche dem Körper als Energiespender dienen, kann man die produzierte Wärmemenge mit Hilfe des respiratorischen Quotienten berechnen.

Ich berechne die Wärmeproduktion mit Hilfe der kalorischen Werte von Sauerstoff, die LUSK (1924) für verschiedene respiratorische Quotienten angibt, aus den in Tab. 1 angegebenen  $O_2$ -Mengen und den respiratorischen Quotienten. In der dritten Kolumne der Tabelle 6 sind die Ergebnisse dieser Berechnung verzeichnet.

TABELLE 6.  
Gesamtwärmeproduktion und -abgabe und ihre Bilanz bei  
*Gastrimargus transversus* THUNBERG.

Temp. °C	Feucht. %	Gesamtwärme- produktion p. Kg. u. Std. g-cal	Gesamtwärme- abgabe p. Kg. u. Std. g-cal	Bilanz g-cal
10	30	3099.01	3086.42	+ 12.59
	60	3237.94	2587.23	+ 650.71
	90	3839.27	2401.60	+1437.67
20	30	7383.99	8501.98	- 1117.99
	60	7491.09	7502.28	- 11.19
	90	6940.70	4471.02	+2469.68
30	30	14081.48	17222.55	- 3141.07
	60	14723.50	14524.63	- 367.42
	90	14372.24	9711.71	+4660.53

Aus der Tabelle geht mit Klarheit hervor, daß die Wärmeproduktion unseres Insekts mit dem Steigen der Temperatur der umgebenden Luft stark zunimmt. Sehr bemerkenswert ist diese Tatsache vom wärmephysiologischen Standpunkt des Poikilothermenlebens aus betrachtet, denn die längst bekannte Tatsache, daß die Wärmeregulierungsfähigkeit des Körpers den Kaltblütern vollständig abgeht, beruht zum grössten Teil auf dieser Eigentümlichkeit der Wärmeproduktion im Verhältnis zur Umgebungstemperatur. Im Vergleich mit den Kaltblütern hat dagegen bei den Warmblütern niedrige Temperatur eine Reihe von Gegenmassregeln zur Folge, welche einer zu grossen Abkühlung entgegenwirken. Der Stoffwechsel der Homoiothermen ist also hier bei niedrigerer Temperatur intensiver als bei höherer.

Betreffs des Einflusses der Luftfeuchtigkeit, weisen die Zahlen der Tabelle auf eine geringfügige Vermehrung der Wärmebildung bei Zunahme der relativen Feuchtigkeit bzw. eine Verminderung bei trockener Luft hin. Aber diese Werte sind im Vergleich mit denen der Temperatur so klein, daß wir kein grosses Gewicht auf die Differenzen zu legen brauchen.

## VI. Wärmeabgabe

a) Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung. Es ist eine bekannte Tatsache, daß beim Übergang des Wassers aus dem flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand eine grosse Wärmemenge verbraucht wird. Um 1 g Wasser in Dampf zu verwandeln, sind bei 10° C 590.86, bei 20° 585.58 und bei 30° 580.21 kleine Kalorien erforderlich (s. LANDOLT-BÖRNSTEIN: Physikalisch-chemische Tabellen 5 Aufl. Bd. 2. 1923). Auf dieselbe Weise stellt die von den Respirationsorganen und der Haut stattfindende Wasserdampfabgabe zugleich eine sehr beträchtliche Wärmeabgabe dar.

Die in der dritten Kolumne der nachstehenden Tabelle angeführten Zahlen geben an, wieviel Gramkalorien Wärme 1 kg Tiere (*Gastri-margus*) in einer Stunde durch diese Transpiration nach aussen abgeben (vgl. auch Tab. 1).

TABELLE 7.

Die durch Wasserverdunstung sowie Strahlung und Leitung abgegebene Wärme bei *Gastrimargus transversus* THUNBERG.

Temp. °C	Feucht. %	Wärmeabgabe durch Wasserver- dunst. p. Kg. u. Std. g-cal.	Wärmeabgabe d. Leitung u. Strahlung p. Kg. u. Std. g-cal.
10	30	3036.42	kein
	60	2413.99	173.24
	90	2033.10	398.50
20	30	8501.99	kein
	60	7502.28	kein
	90	4289.73	181.29*
30	30	17222.55	kein
	60	14524.63	kein
	90	9457.09	254.62

Da die Transpiration mit der Zunahme von Temperatur und Trockenheit der Luft grösser wird, ist es selbstverständlich, daß die Abkühlung des Tierkörpers durch die latente Wärme der Wasserverdunstung umso grösser ist, je höher die Temperatur und Trockenheit der Umgebungsluft.

b) Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung. Bei warmblütigen Tieren erfolgt die Wärmeabgabe hauptsächlich durch Wasserverdunstung, Strahlung und Leitung. Es ist aber allgemein angenommen worden, daß die in der Luft lebenden kaltblütigen Tiere, im Gegensatz zu den Warmblütern, fast keine oder nur sehr minimale Mengen Wärme an die umgebende Luft durch Strahlung und Leitung abgeben können, weil die Temperatur ihres Körpers im allgemeinen der Temperatur der Umgebung folgt, so daß es fast keine oder nur eine sehr geringfügige Temperaturdifferenz zwischen Tierkörper und Umgebungsluft gibt. Es ist daher kein Wunder, daß die experimentelle Prüfung dieses Problems bisher kaum in Angriff genommen worden

\* Die mit einem Sternchen versehene Zahl gibt den Mittelwert von zweimaligen positiven Ergebnissen an; der dritte Versuch schlug fehl in diesem Fall.

ist. Soviel ich weiß, haben nur KREHL und SOETBEER (1899), HILL (1911), RUBNER (1924) und BENEDICT (1932) derartige Studien bei Poikilothermen angestrebt\*, wenn von Wassertieren abgesehen wird.

Aus meinen Temperaturmessungen geht klar hervor, daß nicht nur die Bauchhöhlen-, sondern auch die Hauttemperatur unseres Geradflüglers nicht immer gleich der des Aussenmediums oder niedriger als diese ist; beide können je nach den Umständen, wie bei den Warmblütern, einige Grade über der Aussentemperatur liegen. Dieses Ergebnis brachte mich auf den Gedanken, zu untersuchen, ob das Insekt in diesem Fall seine Körperwärme doch nicht zum Teil durch Strahlung und Leitung nach aussen abgibt.

Die mittels des in Abb. 2 abgebildeten elektrischen Kompensationskalorimeters gewonnenen Untersuchungsergebnisse waren verschieden je nach der Lufttemperatur und -feuchtigkeit, wobei folgende zwei Fälle unterschieden werden konnten.

1) Es fand eine deutliche und genau bestimmbare Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung statt. In diesem Falle musste ich immer eine gewisse Menge Wärme in der Widerstandsspirale durch Sendung eines elektrischen Stroms erzeugen, damit die Luft in beiden Hohlzylindern gleich stark erwärmt wird, und das Galvanometer, das als Nullapparat verwendet wurde, nach keiner Seite hin ausschlägt. Auch in diesem Falle konnte ich immer bei guter Ventilation des Tierraumes einen gewissen Temperaturüberschuß der abströmenden Luft über die Temperatur des zuströmenden wahrnehmen.

2) Bei meiner kalorimetrischen Vorrichtung wurden die beiden von den Hohlzylindern herauskommenden Leitungsdrähte des Thermoelements derart an die Pole des Galvanometers angeschlossen, daß dieses nach rechts ausschlägt, wenn der rechtsseitige, die Tiere enthaltende Hohlzylinder stärker erwärmt wird als der linksseitige Zylinder mit dem Kompensationswiderstand. Wenn daher das Galvanometer sich nach links richtet, dann muß die Luft im Kompensationszylinder wärmer sein als im Tierzylinder.

---

\* Sie beziehen sich fast alle auf poikilotherme Wirbeltiere.



Oft konnte ich beobachten, daß das Galvanometer nach links schnell und fortdauernd ausschlug wenn sogar so minimale Strommen gen wie 5-10 ma durch die Widerstandsspirale gesandt wurden, und schliesslich auch ohne Strom. Dieser Zustand hatte immer eine Abkühlung der aus dem Tierzylinder ausgetretenen Ventilationsluft zur Folge. Es ist höchst wahrscheinlich, daß in solchen Fällen die Versuchsinsekten keineswegs Wärme an die Zylinderluft abgaben, sondern vielmehr von der Ventilationsluft Wärme aufnahmen, was eine Abkühlung des Zylinders nach sich zog.

Im allgemeinen wurde das unter 1 beschriebene Ergebnis bei feuchter Luft oder niedriger Temperatur erhalten, wenn die Körpertemperatur höher war als die der umgebenden Luft. Das unter 2 geschilderte Verhalten war aber charakteristisch für trockene oder höher temperierte Luft, wenn die Temperatur der Insekten niedriger war als die der Luft. War die Differenz zwischen den beiderlei Temperaturen minimal, dann waren die Resultate nicht immer eindeutig, sondern verschiedenartig, d. h. unter ganz gleichen Versuchsbedingungen einmal positiv, ein anderes Mal negativ. Die Zahlenergebnisse zeigt die letzte Kolumne der vorstehenden Tabelle 7.

Aus allen oben geschilderten Untersuchungen können wir mit Recht den Schluß ziehen, daß die Insekten, wie die Warmblüter, ihre Körperwärme im Ruhezustand je nach den Luftbedingungen durch Strahlung und Leitung abgeben, obwohl diese nicht so groß sind. Auf diese Erscheinung soll weiter in einer nachstehenden Mitteilung (X. Mitt.) näher eingegangen werden.

c) Gesamte Wärmeabgabe. Auf Grund unserer Versuchsergebnisse ist es ausser Zweifel, daß die Gesamtwärmeabgabe der Insekten sich aus folgenden zwei Faktoren zusammensetzt :

- 1) Wärmeverlust durch Stigmen- und Hauttranspiration.
- 2) Wärmeverlust mittels der Haut durch Strahlung und Leitung.

In der dritten Spalte der Tabelle 6 sind die gewonnenen gesamten Mengen der abgegebenen Wärme bei verschiedenen Lufttemperaturen und -feuchtigkeiten dargestellt. In dieser Tabelle ist natürlich

die gesamte Wärmemenge nur durch die latente Wärme der Transpiration repräsentiert, wenn keine Wärme durch Strahlung und Leitung abgegeben wird.

### E. PROZENTUALES VERHÄLTNIS DER GESAMT- WÄRMEPRODUKTION UND -ABGABE ZUR LUFTTEMPERATUR UND -FEUCHTIGKEIT

Die Abhängigkeit der einzelnen die Wärmeproduktion bzw. -Abgabe repräsentierenden Vorgänge von der Lufttemperatur und -feuchtigkeit habe ich bereits besprochen und will nun zur Frage, wie sich die gesamten Mengen der produzierten bzw. abgegebenen Wärme zu verschiedenen Temperaturen bzw. Feuchtigkeiten verhalten, übergehen. Tabelle 8 und 9 stellen die entsprechenden Prozentualverhältnisse der Gesamtwärmeproduktion und -abgabe für Temperaturen von 20° bzw. 30° und relative Feuchtigkeiten von 60% bzw. 90% dar, wenn die Wärmemenge bei 10° resp. 30% = 100 gesetzt wird.

Wie Tabelle 8 zeigt, steigt die Wärmeabgabe beträchtlich mit

TABELLE 8.

Prozentuales Verhältnis der Gesamtwärmeproduktion und- abgabe bei  
verschiedenen Lufttemperaturen.

Feucht. %	Temp. °C	Wärmeproduktion	Wärmeabgabe
30	10	100	100
	20	238	275
	30	451	477
60	10	100	100
	20	231	290
	30	455	561
90	10	100	100
	20	181	186
	30	374	404

TABELLE 9.  
Prozentuales Verhältnis der Gesamtwärmeproduktion  
und -abgabe bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten.

Temp. °C	Feucht. %	Wärmeproduktion	Wärmeabgabe
10	30	100	100
	60	121	81
	90	124	78
20	30	100	100
	60	101	88
	90	93	53
30	30	100	100
	60	105	81
	90	102	56

steigender Temperatur. Betreffs der Luftfeuchtigkeit, wird innerhalb der untersuchten Temperaturgrenzen die Gesamtwärmeproduktion durch ihre Schwankungen nur unwesentlich verändert; der Wärmeverlust andererseits wird deutlich durch die Zunahme von Feuchtigkeit herabgesetzt.

Von grundlegender Bedeutung sind diese Temperatur- und Feuchtigkeitsabhängigkeiten des Wärmeaustausches für das Verständnis des Poikilothermismus der Kaltblüter im Vergleich mit dem Homöothermismus der Warmblüter (vgl. RUBNER 1890).

## F. BEZIEHUNG ZWISCHEN DER BILANZ DES WÄRMEHAUSHALTES UND DER KÖRPERTEMPERATUR

Aus einer später zu veröffentlichenden Mitteilung (Mitt. IX) wird man folgendes entnehmen können:

Die Körpertemperatur des Geradflüglers ist dem Wechsel der Umgebungstemperatur gegenüber überaus empfindlich. Sie steigt oder sinkt mit der Lufttemperatur. Wird die Lufttemperatur erhöht oder

erniedrigt, so kommt die Insektentemperatur durch Aufnahme bzw. Abgabe der äusseren Umgebungs- resp. inneren Körperwärme der veränderten Temperatur der Luft sehr nahe. Es wurde von mir festgestellt, daß ein derartiger Ausgleich der Tiertemperatur mit derjenigen der umgebenden Luft hauptsächlich durch Strahlung und Leitung der Wärme erfolgt, mit anderen Worten, daß die Aufnahme bzw. Abgabe der Wärme durch Strahlung und Leitung der bestimmende Faktor der Körpertemperatur ist, wenn die Temperatur des äusseren Mediums sich ändert.

Wie verhält sich der Wärmehaushalt dieser Geradflügler, und, ferner, wie sind die Beziehungen zwischen Wärmeaustausch und Körpertemperatur, wenn die Lufttemperatur sich nicht weiter verändert und konstant bleibt, nachdem die Körpertemperatur mit derjenigen der Luft ins vollkommene Gleichgewicht gebracht worden ist? Diese sind die Fragen, die ich in vorliegender Mitteilung behandeln möchte.

Aus den Zahlen der letzten Spalte der Tabelle 6, die die Differenz zwischen den Gesamtwärmemengen, die von den Tieren produziert bzw. abgegeben wurden, angeben, sind folgende zwei Tatsachen ersichtlich :

1) Wenn die Lufttemperatur und -feuchtigkeit konstant bleiben, sind beide Mengen, die der produzierten und die der abgegebenen Wärme der Geradflügler, im grossen und ganzen einander sehr ähnlich.

2) Andererseits ist diese Übereinstimmung jedoch nicht immer genau, sondern es kommen Differenzen vor, je nach den Luftbedingungen, obgleich sie ziemlich klein sind. Bei 10°C übertrifft die Wärmeproduktion immer die Wärmeabgabe, ungeachtet der relativen Feuchtigkeit. Bei 20° sowie auch bei 30° dagegen ist die erstere grösser als die letztere nur bei feuchter Luft wie die von 90% rel. Feucht. Bei 30% und 60% rel. Feucht. tritt das Umgekehrte ein.

Vergleichen wir diese zwei Arten von Bilanz des Wärmeaustausches mit den Körpertemperaturen des Insekts, die in Tab. 5 mitgeteilt wurden, so sehen wir auch folgende Beziehungen :

Bei 10°C ist die Wärmeproduktion immer grösser als die Wärmeabgabe, und die Gesamttemperatur der Bauchhöhle und Haut

liegt über derjenigen der umgebenden Luft. Das Gleiche ist mit der Luft von 90% rel. Feucht. bei 20° und 30° der Fall. Bei rel. Feucht. von 30% und Temp. von 30°, bei denen die Wärmeabgabe immer die Wärmeproduktion übertrifft, ist die Beziehung umgekehrt, d. h. das Insekt besitzt eine eigene Temperatur, welche niedriger ist als die der Umgebungsluft. Aber das Ergebnis bei rel. Feucht. von 60% und Temp. von 20° gehört zu keinem dieser beiden Fälle, denn hier ist die Wärmeproduktion geringer als die Wärmeabgabe, trotzdem die Körpertemperatur höher ist als die Umgebungstemperatur. Ich glaube aber, daß dieser Ausnahmefall vielleicht auf Fehler bei der Bestimmung entweder der Körpertemperatur oder des Wärmeaustausches beruht.

Ferner ist auch zu erkennen, daß die Differenz zwischen Tierkörper- und Lufttemperatur umso grösser ist, je grösser die Bilanzzahl des Wärmeaustausches.

Aus den obigen Überlegungen lassen sich folgende Verallgemeinerungen ableiten:

1) Solange das Insekt der Einwirkung einer speziellen äusseren Wärmequelle entzogen ist, ist die Temperatur seines Körpers im wesentlichen von dem Verhältnis der Wärmeproduktion zur Wärmeabgabe des Körpers abhängig. Übertrifft die Wärmeproduktion die Wärmeabgabe, so befindet sich die Körpertemperatur über derjenigen der umgebenden Luft; sonst tritt das Umgekehrte ein. Bei der gleichen Grösse der beiden Komponenten ist demnach die Körpertemperatur dieselbe wie die Aussentemperatur.

2) Daraus, dass diese Differenz nicht so gross ist, wenn die Temperatur der umgebenden Luft konstant bleibt, trotzdem die Wärmeproduktion und die Wärmeabgabe nicht einander gleich sind, folgt, daß bei derartig konstanter Umgebungstemperatur das Insekt immer eine eigene Temperatur besitzt, die in hohem Grade der Umgebungstemperatur ähnlich ist.

## G. ZUSAMMENFASSUNG

In vorliegender Abhandlung sind Körpertemperatur, Wärmepro-

duktion, und Wärmeabgabe eines Geradflüglers, *Gastrimargus transversus* THUNBERG, bei verschiedenen konstanten Lufttemperaturen und -feuchtigkeiten gemessen worden, um festzustellen, in welchem Zusammenhang die Körpertemperatur dieses Insekts mit der Temperatur der umgebenden Luft steht, wenn diese konstant bleibt, und auf welchem Mechanismus das Verhalten der Körpertemperatur gegen die Umgebungstemperatur beruht.

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Körpertemperatur und Aussentemperatur.

Im grossen und ganzen besitzt das Insekt immer eine eigene Temperatur der Bauchhöhle und der Haut, die der Temperatur der umgebenden Luft sehr nahe steht. Im einzelnen ist aber die Körpertemperatur nicht immer der Lufttemperatur ganz gleich, sondern bei niedriger Umgebungstemperatur stets höher als die der Luft, bei höherer jedoch höher oder niedriger als die Lufttemperatur bei feuchter bzw. trockener Luft.

Die Hauttemperatur ist immer niedriger als die Bauchhöhlentemperatur, daher ist der Temperaturüberschuß bzw. -Defizit zwischen Haut und Luft immer kleiner bzw. grösser als bei der Bauchhöhlentemperatur.

Wärmeproduktion.

Die Wärmebildung im Geradflüglerkörper ist, wie es im allgemeinen mit allen Poikilothermen der Fall ist, eine mit der Umgebungstemperatur gleichsinnig veränderliche Grösse, also lebhafter bei höherer Temperatur als bei niedrigerer. Der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion bei der Atmung, die beide ein sichtbarer Ausdruck der Verbrennungsgrösse im Körper sind, nehmen daher selbstverständlich mit der Aussentemperatur zu.

Die Zunahme der Luftfeuchtigkeit hat eine äusserst geringfügige Vermehrung der Wärmeproduktion resp. des Respirationsgaswechsels zur Folge, aber die Wirkung der Schwankungen der Luftfeuchtigkeit ist im Vergleich mit der der Temperatur nur so gering, daß man sie fast unberücksichtigt lassen kann.

### Wärmeabgabe.

Die Wärmeabgabe erfolgt im allgemeinen immer durch die vom Körper ausgehende Wasserverdunstung. Diese steigt mit der Zunahme der Temperatur und Trockenheit der Luft.

Auch kommt bei diesem Insekt eine andere Art der Wärmeabgabe, nämlich die durch Strahlung und Leitung, in Betracht, wenn die Körpertemperatur höher ist als die der Umgebungsluft, obgleich diese Vorgänge nur in äusserst geringem Grade an dem gesamten Wärmeverlust beteiligt sind. Sie kommen nur bei niedriger Umgebungstemperatur und bei feuchter Luft von höherer Temperatur in Frage, und sind immer intensiver bei feuchter Luft als bei trockener.

### Bilanz des Wärmewechsels.

Solange die Temperatur der umgebenden Luft konstant bleibt, sind die Grössen der von den Geradflüglern gebildeten und abgegebenen Wärmemengen einander sehr ähnlich. Diese Ähnlichkeit ist aber nicht immer gleich weitgehend, da sich je nach der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft Differenzen einstellen. Bei niedriger Temperatur übertrifft immer die Wärmeproduktion die Wärmeabgabe, ungeachtet des Feuchtigkeitsgrades, dagegen bei höherer Temperatur ist dies nur bei feuchter Luft der Fall, während sich bei trockener Luft das Verhältnis umkehrt.

Beziehungen zwischen der Bilanz des Wärmewechsels und der Temperatur des Insektenkörpers.

Solange das Insekt der Einwirkung einer speziellen äusseren Wärmequelle entzogen ist, ist die Temperatur seines Körpers im wesentlichen abhängig von dem Verhältnis seiner Wärmeproduktion zu seiner Wärmeabgabe. Übertrifft die Wärmeproduktion die Wärmeabgabe, dann fällt die Körpertemperatur höher aus als die der umgebenden Luft; sonst tritt das Umgekehrte ein. Demnach ist die Körpertemperatur bei der gleichen Grösse der beiden Faktoren dieselbe wie die Aussentemperatur.

Da die sich ergebenden Differenzen nicht besonders groß sind, wenn die Temperatur der umgebenden Luft konstant bleibt, auch wenn die Wärmeproduktion und -abgabe nicht einander gleich sind, ist es

selbstverständlich, daß bei konstanter Umgebungstemperatur die Insekten oder die poikilothermen Tiere im allgemeinen immer eine eigene Temperatur besitzen, die eine weitgehende Annäherung an die Umgebungstemperatur zeigt.

## H. LITERATUR

- BENEDICT, F. G.: The physiology of large reptiles. New York (1932).
- BOHR, CH. u. HASSELBALCH, K. A.: Ueber die Wärmeproduktion und den Stoffwechsel des Embryos. Skand. Arch. Physiol. XIV, 398-429 (1903).
- HALDANE, J. B. S.: A new form of apparatus measuring the respiratory exchange of animals. Jour. Physiol. XIII, 419-430 (1892).
- HÄRI, P.: Elektrische Kompensationskalorimetrie. Abderhalden's Handb. biol. Arbeitsmeth. IV (10) (1925).
- HILL, A. V.: The total energy exchange of intact cold-blooded animals at rest. Jour. Physiol. XLIII, 379-394 (1911).
- KOIDSUMI, K.: Allgemeine Nachweise und quantitative Bestimmungen der tierischen Transpiration (Experimentelle Studien über die Transpiration und den Wärmehaushalt bei Insekten I.). Mem. Fac. Sci. Agri. Taihoku Imp. Univ. XII (1), 1-19 (1934).
- : Transpirationsgrösse an verschiedenen Stellen des Insektenkörpers ( " II). Ebenda, XII (1), 21-40 (1934).
- : Ueber die physiologischen Komponenten der tierischen Transpiration bei Insekten ( „ III). Ebenda, XII (1), 41-79 (1934).
- : Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Insektentranspiration ( " IV.). Ebenda, XII (1), 81-107 (1934).
- : Einfluss der Lufttemperatur auf die Insektentranspiration ( " V.). Ebenda, XII (1), 109-124 (1934).
- : Einfluss der Luftbewegung und des Lichtes auf die Insektentranspiration ( " VI). Ebenda, XII (1), 125-136 (1934).
- : Ueber den zeitlichen Verlauf der Transpiration verschiedener Insekten bei verschiedener Luftfeuchtigkeit ( " VII). Ebenda, XII (1), 137-179 (1934).
- KREHL, L. u. SOETBEER, F.: Untersuchungen über die Wärmeökonomie der poikilothermen Wirbeltiere. Pflügers Arch. LXXVII, 611-633 (1899).
- LUSK, G.: Animal calorimetry: 24 th Report. Analysis of the oxidation of mixtures of carbohydrate and fat. A correction. Jour. Biol. Chem. LIX, 41-42 (1924).
- NECHELES, H.: Ueber Wärmeregulation bei wechselwarmen Tieren. Pflügers Arch. CCIV, 72-86 (1924).
- RICHARDSON, H. B.: The respiratory quotient. Physiol. Rev. IX. 61-125
- RUBNER, M.: Thermische Wirkung der Luftfeuchtigkeit. Arch. Hyg. XI, 255-292 (1890).
- : Aus dem Leben des Kaltblüters. II. Teil: Amphibien und Reptilien. Biochem. Z. CXLVIII, 268-307 (1924).
- ZUNTZ, N. u. SCHUMBERG: Studien zu einer Physiologie des Marsches. Berlin (1901).





## IX. MITTEILUNG

### Ueber den Mechanismus des Temperaturwechsels bei Insekten

(Mit 2 Textabbildungen)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, Dec. 8, 1934)

#### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung ... ..	317
B. Versuchsplan und Methoden... ..	318
C. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	320
D. Mechanismus des Wärmeausgleichs ... ..	326
I. Gültigkeit des Newton'schen Wärmeausgleichs- gesetzes ... ..	326
II. Vergleich des Wärmeausgleichs bei toten und lebenden Tieren ... ..	328
III. Vergleich der Erwärmungs- und Abkühlungs- geschwindigkeit ... ..	333
IV. Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf den Wärme- ausgleich ... ..	334
E. Zusammenfassung ... ..	335
F. Literatur ... ..	336

#### A. EINLEITUNG

In der vorstehenden achten Mitteilung ist das Verhalten der Körpertemperatur bei einer Orthopterenart, *Gastrimargus transversus* THUNBERG, bei verschiedener konstanter Temperatur der umgebenden Luft auf Grund der Bilanz des Wärmehaushaltes, die zwischen Wär-

meproduktion und Wärmeabgabe zutage tritt, erörtert worden. In vorliegender Mitteilung möchte ich Versuche beschreiben, deren Zweck war, festzustellen, wie sich die Körpertemperatur dieses Insekts gegen variierende Lufttemperaturen verhält, und auch, worauf die Beziehung zwischen Körpertemperatur und wechselnder Aussentemperatur, oder mit anderen Worten, worauf der Mechanismus des Poikilothermismus der Kaltblüter beruht.

Es ist von jeher behauptet worden, dass die Körpertemperatur der Kaltblüter sich mit der Temperatur der Umgebung fortwährend verändert. Diese Behauptung beruht einzig und allein auf der Tatsache, daß die Kaltblütertemperatur stets gleich mit der Umgebungstemperatur ist. Unmittelbare exakte Studien über den Wechsel der Körpertemperatur in Abhängigkeit von derjenigen des umgebenden Mediums fehlen aber bis jetzt fast gänzlich.

Die Aufgabe der vorliegenden Mitteilung ist, auf Grund exakter Versuche näheren Aufschluss über den Mechanismus der Poikilothermie zu erlangen. Die Versuche wurden an dem gleichen Insekt, *Gastrimargus transversus* THUNBERG, ausgeführt, wie die in der VIII. Mitt. mitgeteilt.

## B. VERSUCHSPLAN UND METHODEN

Den Wärmeausgleich der Tiere kann man auf zwei Wegen studieren, nämlich durch Übertragen der Versuchstiere in einen Thermostat von bestimmter Temperatur aus einer anderen Umgebungswärme, oder durch unmittelbare Veränderung der Temperatur des die Tiere umgebenden Mediums. In der Regel ist die erstere Methode angewendet worden (s. SOETBEER 1898, DILLEWIJN u. JACOB 1924, PEARSE u. HALL 1928, BODENHEIMER 1929, BODENHEIMER u. SAMBURSKI 1930 u. s. a.), während die letztere nur selten benutzt wurde (s. BALDWIN 1925). Meine Versuche wurden nach der ersten Methode und nach folgendem Plan ausgeführt.

1) Der Temperatúrausgleich wurde bei Überführung der Versuchsinsekten in zwei konstante Temperaturen, nämlich 39.52 und

2,64° C, aus einer Zimmertemperatur von ungefähr 20° C untersucht, d. h. beiderlei Arten von Ausgleich, Erwärmung und Abkühlung, waren Gegenstand der Untersuchung.

2) Es wurde auch untersucht, welchen Einfluß die Feuchtigkeit der Luft auf den Wärmeausgleich ausübt. Zu diesem Zweck wurde Luft von 39,52° mit dreierlei relativen Feuchtigkeiten von 30, 60 und 90% versetzt. Dies wurde mit Hilfe eines Hygrothermostats erreicht. Aber die niedrige Temperatur von 2,64° auf diesem Wege zu untersuchen, ist mir nicht gelungen, daher wurde in diesem Falle folgendes Verfahren angewendet. Das Versuchstier wurde in ein Glasgefäß eingebracht, das einige Körnchen von Chlorkalzium bzw. destilliertes Wasser enthielt, nachdem das Gefäß die Temperatur eines konstanten Wasserbades angenommen hatte, in das es eingetaucht worden ist. Da mir hierbei nicht gelungen ist, den quantitativen Index der relativen Feuchtigkeit zu ermitteln, habe ich bei dem Abkühlungsversuch nur sehr trockene resp. sehr feuchte Luft unterschieden.

Bei der Unterbringung im Hygrothermostat oder im Glasgefäß wurden die Versuchstiere mit dem Rücken nach unten auf einer Korkplatte festgehalten, um die unmittelbare Wärmeleitung zwischen Tierkörper und Substrat zu verhindern.

3) Ausser dem Temperatenausgleich bei normalen, lebenden Tieren wurden Versuche bei Leichen der untersuchten Art ausgeführt, um den Verlauf des Ausgleichs bei lebenden Tieren und unbelebten Gegenständen vergleichen zu können. Die lebenden Tiere wurden, nachdem sie einmal untersucht worden waren, durch einstündige Berührung mit Blausäuregas getötet und sofort nach dem Tode zu Versuchszwecken benutzt.

Sämtliche Temperaturmessungen wurden mit einer Thermo-nadel (Konstantan-Kupfer) gemacht, deren eine Lötstelle vorsichtig in den Enddarm der Tiere eingeführt und in den vorderen Teil des Abdomens vorgeschoben wurde, während die andere sich in einer mit Eis gefüllten Thermosflasche befand. Die Empfindlichkeit dieser Thermo-nadel betrug 0,04° C bei Verbindung mit einem Leeds- und Northrup'schen R- Typus- Galvanometer.

Die anfängliche Körpertemperatur wurde immer bei fast wassergesättigter Luft (Relative Feuchtigkeit 90-95%) des Zimmers gemessen, um nachzuweisen, inwieweit der Wärmeausgleich durch die Verdunstungskälte bei Wasserdampfausscheidung eine Änderung erleidet.

Alle bei den Versuchen gebrauchten Individuen waren von möglichst ähnlicher Körpergrösse, weil die Geschwindigkeit des Wärmeausgleichs im allgemeinen in hohem Grade von der Grösse des betreffenden Gegenstandes abhängt.

### C. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

Ich wiederholte immer dasselbe Experiment einige Male, aber gebe nur ein einziges Resultat für jede Versuchsbedingung an, denn alle Wiederholungen lieferten immer ein übereinstimmendes Ergebnis.

TABELLE 1-4.

Beobachteter und berechneter Zeitverlauf des Temperatenausgleichs von *Gastri-margus transversus* THUNBERG bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten.  $\theta$  zeigt die Körpertemperatur des Insekts im Verlauf des Ausgleichs mit der neuen äusseren Temperatur ( $\theta_1$ ). Jeder theoretische Wert von  $\theta$  wurde durch die Newton'sche Formel mit Hilfe des betreffenden Quotientenwertes  $k$  ermittelt.

TABELLE 1. Erwärmung bei lebendem Tier.  $\theta_1=39.52^\circ\text{C}$ ;  $k=0.13$  bei 30%, 0.26 bei 60% und 0.39 bei 90% rel. Feuchtigkeit.

TABELLE 2. Erwärmung bei demselben Tier wie in Tab. 1, das nach dem Versuch getötet wurde.  $\theta_1=39.52^\circ\text{C}$ ;  $k=0.10$  bei 30%, 0.22 bei 60% und 0.35 bei 90% rel. Feuchtigkeit.

TABELLE 3. Abkühlung bei lebendem Tier.  $\theta_1=-2.64^\circ\text{C}$ ;  $k=0.16$  bei trockener Luft, und 0.38 bei feuchter Luft.

TABELLE 4. Abkühlung bei demselben Tier wie in Tab. 3, das nach dem Versuch getötet wurde.  $\theta_1=-2.64^\circ\text{C}$ ;  $k=0.19$  bei trockener Luft, und 0.40 bei feuchter Luft.

TABELLE 1.

Zeit Min.	$\theta$ beobachtet			$\theta$ berechnet		
	30 %	60 %	90 %	30 %	60 %	90 %
0	19.04	19.44	20.52	19.04	19.44	20.52
1	21.36	25.20	27.84	21.56	24.04	26.65
2	23.08	27.64	31.40	23.73	27.59	30.79

(Fortsetzung)

Zeit Min.	° beobachtet			° berechnet		
	30%	60%	90%	30%	60%	90%
3	24.12	31.16	33.76	25.68	30.32	33.61
4	25.96	33.00	36.08	27.36	32.43	35.51
5	27.36	34.48	37.16	28.85	34.05	36.81
6	29.36	35.64	38.00	30.14	35.31	37.68
7	31.00	35.96	38.64	31.29	36.27	38.27
8	32.24	37.32	39.08	32.29	37.01	38.68
9	33.00	37.84	39.20	33.18	37.59	38.95
10	33.72	38.36	39.32	33.95	38.03	39.13
11	34.32	38.44	39.44	34.63	38.37	39.26
12	35.08	38.52	39.48	35.32	38.64	39.34
13	35.64	38.84	39.56	35.85	38.84	39.40
14	36.00	38.88	39.40	36.21	38.99	39.43
15	36.36	38.88	39.48	36.61	39.11	39.46
16	36.72	38.72	39.28	37.07	39.21	39.48
17	37.08	38.88	39.24	37.29	39.28	39.49
18	37.76	38.84	39.20	37.56	39.33	39.50
19	37.64	38.92	39.16	37.80	39.38	39.51
20	37.52	38.80	39.12	38.00	39.41	39.51
21	37.48	38.92	39.24	38.19	39.43	39.52
22	37.40	38.76	39.24	38.35	39.45	39.52
23	37.60	38.84	39.24	38.50	39.47	39.52
24	38.00	38.84	39.24	38.62	39.48	39.52
25	37.92	38.92	39.32	38.73	39.49	39.52
26	37.64	38.92	39.32	38.83	39.50	39.52
27	37.76	38.92	39.34	38.91	39.50	39.52
28	37.68	38.92	39.38	38.99	39.51	39.52
29	37.68	38.92	39.42	39.05	39.51	39.52
30	37.80	38.98	39.38	39.10	39.51	39.52

TABELLE 2.

Zeit Min.	ø beobachtet			ø berechnet		
	30 %	60 %	90 %	30 %	60 %	90 %
0	18.36	18.80	19.48	18.36	18.80	19.48
1	19.88	22.60	25.24	20.55	22.91	25.40
2	21.80	25.80	30.44	22.21	26.17	30.36
3	22.92	28.44	32.44	23.80	28.82	32.51
4	24.32	31.12	35.54	25.35	30.92	34.58
5	26.08	32.32	36.52	26.69	32.63	36.04
6	27.16	33.72	36.96	27.90	33.99	37.07
7	28.56	34.80	38.08	29.02	35.08	37.79
8	29.60	35.64	38.68	30.00	35.96	38.30
9	30.60	36.48	38.72	30.92	36.66	38.66
10	31.44	36.96	38.96	31.73	37.23	38.91
11	32.20	37.48	39.12	32.46	37.68	39.09
12	32.64	37.92	39.08	33.14	38.04	39.22
13	33.12	38.00	39.08	33.74	38.34	39.31
14	33.68	38.08	39.12	34.30	38.57	39.37
15	34.12	38.04	39.20	34.79	38.76	39.41
16	34.60	37.96	39.26	35.24	38.91	39.45
17	35.04	37.88	39.20	35.65	39.03	39.47
18	35.48	37.92	39.12	36.02	39.13	39.46
19	35.64	38.20	39.04	36.33	39.20	39.49
20	36.16	38.44	39.04	36.65	39.27	39.50
21	36.16	38.24	39.04	36.92	39.30	39.51
22	36.52	38.16	39.00	37.17	39.36	39.51
23	36.44	38.16	39.04	37.39	39.39	39.51
24	36.44	38.24	39.08	37.60	39.41	39.52
25	36.84	38.16	39.08	37.78	39.44	39.52
26	37.08	38.32	39.04	37.94	39.45	39.52
27	37.08	38.28	39.00	38.10	39.47	39.52
28	37.12	38.24	39.00	38.23	39.48	39.52
29	36.84	38.24	39.04	38.35	39.49	39.52
30	36.80	38.12	39.00	38.46	39.49	39.52

TABELLE 3.

Zeit Min.	° beobachtet		° berechnet	
	in trock. Luft	in feucht. Luft	in trock. Luft	in feucht. Luft
0	19.84	20.36	19.84	20.36
1	15.06	14.54	17.30	14.75
2	13.92	11.48	15.14	10.92
3	12.56	8.68	13.28	8.30
4	10.60	6.20	11.72	6.51
5	10.08	5.44	10.37	5.29
6	9.04	5.12	9.23	4.65
7	8.16	4.80	8.25	4.28
8	7.00	4.64	7.26	3.62
9	6.64	4.56	6.71	3.22
10	6.32	4.48	6.12	3.04
11	5.84	4.48	5.60	2.91
12	5.72	4.40	5.16	2.13
13	5.40	4.40	4.79	2.77
14	5.16	4.44	4.47	2.73
15	4.76	4.44	4.10	2.70
16	5.00	4.48	3.97	2.68
17	4.68	4.44	3.77	2.67
18	4.40	4.56	3.61	2.66
19	4.76	4.58	3.46	2.65
20	4.52	4.52	3.34	2.65
21	4.64	4.52	3.24	2.65
22	4.80	4.48	3.15	2.64
23	4.96	4.40	3.07	2.64
24	4.96	4.24	3.01	2.64
25	4.92	4.20	2.95	2.64
26	4.76	4.36	2.91	2.64
27	4.80	4.20	2.87	2.64
28	4.92	4.32	2.84	2.64
29	4.76	4.24	2.81	2.84
30	4.76	4.24	2.78	2.64



TABELLE 4.

Zeit Min.	ø beobachtet		ø berechnet	
	in trock. Luft	in feucht. Luft	in trock. Luft	in feucht. Luft
0	20.76	20.12	20.76	20.12
1	14.52	14.32	17.60	14.36
2	12.56	10.32	15.03	10.51
3	11.80	6.88	12.87	7.91
4	10.04	5.44	11.11	6.17
5	8.60	4.06	9.64	5.01
6	7.74	4.36	8.43	4.21
7	6.68	3.52	7.43	3.69
8	5.96	3.36	6.60	3.32
9	5.24	3.12	5.91	3.19
10	4.64	2.96	5.35	2.94
11	4.16	3.12	4.88	2.84
12	3.92	2.72	4.49	2.78
13	3.56	2.64	4.17	2.74
14	3.24	2.68	3.91	2.71
15	2.92	2.68	3.69	2.68
16	2.88	2.68	3.51	2.67
17	2.56	2.64	3.36	2.66
18	2.36	2.64	3.23	2.65
19	2.12	2.64	3.13	2.65
20	2.16	2.64	3.05	2.65
21	2.16	2.60	2.98	2.65
22	2.12	2.60	2.91	2.64
23	2.12	2.64	2.87	2.64
24	2.20	2.60	2.83	2.64
25	2.20	2.64	2.80	2.64
26	2.04	2.64	2.77	2.64
27	1.88	2.68	2.75	2.64
28	1.84	2.68	2.73	2.64
29	2.08	2.68	2.72	2.64
30	2.08	2.64	2.70	2.64

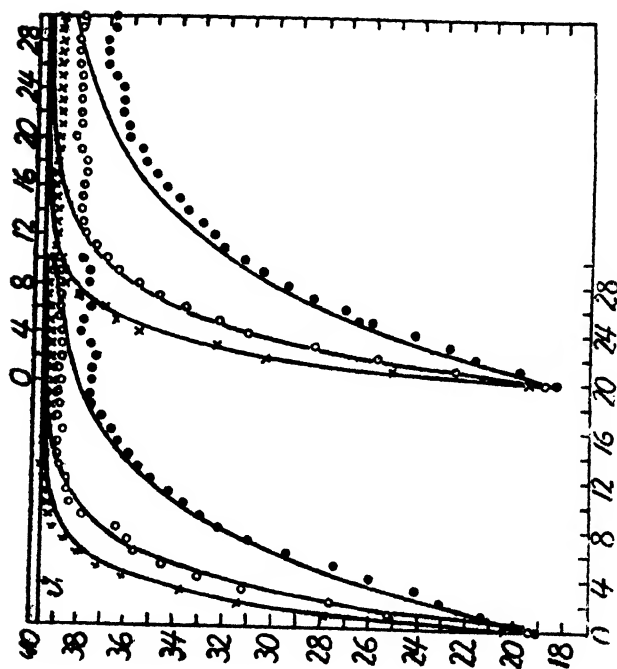


Abb. 1.

Graphische Darstellung der Tabellen 1 (links) und 2 (rechts).  
Abszisse: Körpertemperatur ( $\theta$ ); Ordinate: Zeit (t). Die ausgezogenen Kurven geben die auf Grund des Newton'schen Gesetzes berechneten Werte von  $\theta$  an.

● ● ● = 30% rel. Feucht., ○ ○ ○ = 60% rel. Feucht.,  
× × × = 90% rel. Feucht.

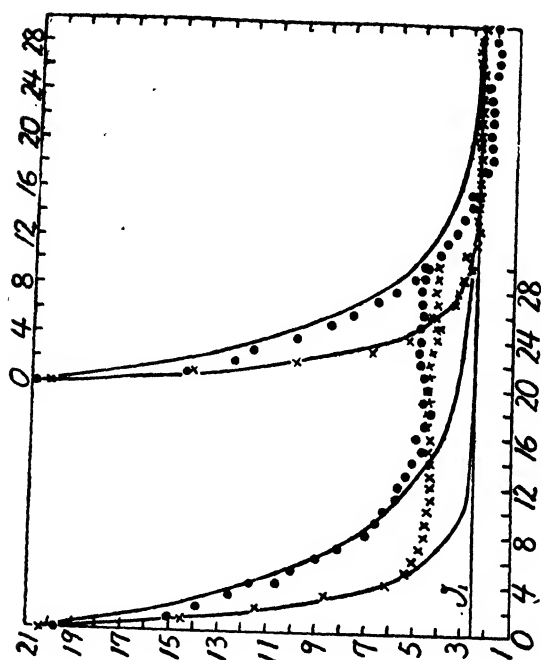


Abb. 2.

Graphische Darstellung der Tabellen 3 (links) und 4 (rechts).  
Abszisse: Körpertemperatur ( $\theta$ ); Ordinate: Zeit (t). Die ausgezogenen Linien repräsentieren die Newton'schen Abkühlungskurven.

● ● ● = trockene Luft, × × × = Feuchte Luft.

Aus beiden Abbildungen geht übereinstimmend hervor, daß die Körperwärme dieser Heuschrecke sich mit der der neuen Umgebung bald ausgleicht. Allemal nähert sich die Ausgleichskurve der horizontalen Linie, die die Temperatur der neuen Umgebung angibt, erst sehr rasch, dann immer langsamer, bis die Körpertemperatur schliesslich mit der Lufttemperatur ins Gleichgewicht gekommen ist. Die Geschwindigkeit und der Zustand des Wärmeausgleichs sind jedoch etwas verschieden bei Erwärmung und Abkühlung, bei lebenden und toten Insekten sowie bei trockener und feuchter Luft.

#### D. MECHANISMUS DES WÄRMEAUSGLEICHS

Man kann folgende 3 Vorgänge betreffs des Mechanismus des Wärmeausgleichs bei lebenden Organismen unterscheiden.

- 1) Wärmeaufnahme und -abgabe durch Strahlung und Leitung,
- 2) Wärmeabgabe durch Transpiration,
- 3) Wärmeproduktion.

Leider ist es aber nicht möglich oder wenigstens äusserst schwer, einzelne Wärmemengen, welche durch diese Vorgänge entstehen, bei einem so kurzen Zeitintervall wie eine Minute gesondert festzustellen. Bei der Betrachtung dieses Problems leistet uns aber das sogenannte Abkühlungsgesetz von NEWTON, welches den Verlauf des Temperaturausgleichs durch Wärmeaufnahme bzw. -abgabe genau wiedergibt, ausgezeichnete Dienste.

#### I. Gültigkeit des Newton'schen Wärmeausgleichsgesetzes

Nach dem Newton'schen Abkühlungsgesetz ist die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Körpers pro Zeiteinheit,  $\frac{d\theta}{dt}$ , die durch Strahlung und Leitung erfolgt, proportional dem Temperaturüberschuß des Körpers über die Umgebungstemperatur, d. h.

$$-\frac{d\theta}{dt} = k\theta.$$

Bedeutet  $\theta_0$  die vor dem Versuch gemessene Eigentemperatur des Körpers,  $\theta_1$  die konstante Temperatur der Umgebung, in die der Körper

übergeführt wurde,  $t$  Zeit und  $\theta$  die Temperatur des Körpers bei  $t$ , dann lautet die vorstehende Formel

$$\theta - \theta_1 = (\theta_0 - \theta_1)e^{-kt} \dots\dots\dots 1,$$

wobei  $k$  eine für die Oberfläche und Wärmekapazität des Körpers sowie die Wärmeleitungsfähigkeit der Umgebung charakteristische Konstante ist.

Ist die Kurve in einem rechtwinkligen Koordinatensystem, die die logarithmischen Werte von  $\frac{\theta_0 - \theta_1}{\theta - \theta_1}$  gegen die Werte von  $t$  wiedergibt, eine Gerade, nämlich

$$\text{ist} \quad \frac{1}{0.4343} \frac{1}{t} \log \frac{\theta_0 - \theta_1}{\theta - \theta_1} = k,$$

dann verläuft der Temperatúrausgleich nach dem Newton'schen Gesetz, denn aus der Formel 1 folgt

$$\log (\theta_0 - \theta_1) - \log (\theta - \theta_1) = kt \log e$$

$$\text{und} \quad \log \frac{\theta_0 - \theta_1}{\theta - \theta_1} = 0.4343 kt.$$

Nun betrachten wir die Gültigkeit dieses Gesetzes bei unserem *Gastrimargus*.

Bei allen meinen Daten war die Abhängigkeit des  $\log \frac{\theta_0 - \theta_1}{\theta - \theta_1}$  von  $t$  durch eine Gerade darstellbar, obgleich Abweichungen vorkamen, d. h. es lagen die Punkte nicht immer auf dieser Geraden (von ihrer Wiedergabe wird hier abgesehen). Man kann mit Sicherheit sagen daß der Wärmeausgleich dieser Heuschrecke im grossen und ganzen dem Gesetz von NEWTON folgt. In der letzten Spalte jeder der früher angeführten Tabellen wurden die betreffenden Werte von  $\theta$  durch die entsprechenden durch graphische Ausmessung ermittelten  $k$ -Werte berechnet und den beobachteten Werten gegenübergestellt. Aus dem Vergleich geht übereinstimmend hervor, daß die berechneten Zahlen im grossen und ganzen in Einklang mit den beobachteten Daten stehen. Ähnliche Ergebnisse, nämlich, daß der Wärmeausgleich dem New-

ton'schen Gesetz folgt, finden wir auch bei anderen Tierformen, z. B. bei einer Schnecke, *Helix pomatia* (DILLEWIJN u. JACOB 1924), einer Schildkröte (PEARSE u. HALL 1928) und bei Insekten, *Schistocera gregaria* (BODENHEIMER 1929) und *Scarites eurytus* (BODENHEIMER u. SAMBURSKI 1930).

Aus dieser Beziehung des Wärmeausgleichsverlaufes zum Newton'schen Gesetz folgt, daß der durch die Temperaturänderungen der Umgebung herbeigeführte Wechsel der Körpertemperatur bei unserem Insekt und vielleicht auch bei anderen Poikilothermen im allgemeinen auf den Wärmeausgleich durch Strahlung und Leitung zurückzuführen ist.

Es muss aber berücksichtigt werden, daß dieser Schluß nicht immer vollkommen richtig ist, da umständehalber mehr oder weniger Abweichungen von dieser Gesetzmässigkeit vorkommen, die in nachstehendem Abschnitt ausführlich erörtert werden.

## II. Vergleich des Wärmeausgleichs bei toten und lebenden Tieren

Wie das Newton'sche Abkühlungsgesetz lehrt, genügt das Studium des durch Strahlung und Leitung bewirkten Ausgleichs vollkommen, um den Verlauf des Wärmeausgleichs bei einem unbelebten Körper, der kein Wasser enthält, gut zu charakterisieren. Diese Beziehung ergibt sich aus der folgenden Formel.

$$W_{\text{tot}} = f(\theta_0 - \theta_1).$$

Ist aber  $\theta_0$  die Temperatur eines verdunstenden, feuchten Körpers, so kühlt sich dieser nicht nur bis  $\theta_1$  ab, sondern er wird infolge der Verdunstungskälte untertemperiert, und seine Temperatur beträgt auch bei Erwärmung keineswegs  $\theta_1$ . Die Wärme, die infolge der Verdunstung dem Körper entzogen wird, ist proportional zum Sättigungsdefizit, das zwischen dem maximalen Dampfdruck bei der Temperatur von  $\theta_1$ ,  $E$ , und dem herrschenden Dampfdrucke,  $e$ , besteht, und zur Temperatur des Körpers  $T$ . Die Wärmeentziehung lässt sich errechnen nach der Formel

$$W_v = f(E - e) T.$$

Der gesamte Wärmeaustausch ist daher in diesem Falle

$$W = W_{s,t} + W_v = f(\theta_0 - \theta_1) + f(E - e) T.$$

Aus dieser Gleichung geht hervor, daß die Temperatur eines feuchten Körpers bei dem Prozeß des Wärmeausgleichs immer niedriger sein muß, um den Wert anzunehmen, der  $f(E - e) T$  entspricht, als, *ceteris paribus*, im trockenen Zustand des betreffenden Körpers. Für diejenigen Fälle, in denen der Wärmeausgleich bei der Überführung des Körpers in eine konstante anders temperierte Umgebung vor sich geht, muß sich diese Temperaturdifferenz wie folgt theoretisch darstellen. Da das Sättigungsdefizit,  $E - e$ , zeitlich konstant ist, wird die Temperatur des feuchten Körpers bei dem Ausgleichsverlauf immer niedriger um den Grad, der proportional zum Sättigungsdefizit ist, als die des trockenen Körpers. Infolgedessen läuft die Ausgleichskurve immer mit einer bestimmten konstanten Abweichung parallel zu der des trockenen Körpers. Aber wenn andererseits die Körpertemperatur  $T$  sich fortwährend mit der Zeit verändert, dann verändert sich auch die Verdunstungskälte, die zu  $T$  proportional ist. Diese der Veränderung von  $T$  zuzuschreibende Temperaturdifferenz wird mit der Zeit bei Erwärmung immer grösser, bei Abkühlung dagegen kleiner.

Der zeitliche Verlauf des Wärmeausgleichs, den ich bei der getöteten Heuschrecke gefunden habe, genügt ziemlich gut der eben erwähnten Theorie. Bei trockener Luft läuft unsere Kurve immer niedriger als die für den ganz trockenen Körper berechnete, mit einer Abweichung, die bei Erwärmung zunächst klein ist und dann sich vergrößert, bei Abkühlung dagegen sich umgekehrt verhält. Im Gegensatz dazu liegen bei feuchter Luft alle gewonnenen Punkte auf dieser theoretischen Kurve, abgesehen von der Endperiode der Abkühlung, denn bei feuchter Luft ist die Verdunstung sehr gering.

Wie bereits bemerkt, wurde diese Beziehung nur dank meiner Versuchsanstellung erfasst, bei der die Anfangstemperatur des Körpers,  $\theta_0$ , bei mit Wasserdampf gesättigter Luft ermittelt wurde. Wer-

den die Versuche bei der gleichen Feuchtigkeit wie die der zu untersuchenden Luft begonnen, so können wir nicht leicht einen derartigen Einfluß der Wasserverdunstung nachweisen, denn die durch derartige Werte von  $\theta$ , berechneten Werte von  $\theta$  dürften immer mit den gefundenen  $\theta$  übereinstimmen, weil in dem auf diese Weise ermittelten Wert von  $\theta$ , der Einfluß der Verdunstung schon enthalten ist.

Es fragt sich nun, durch welchen Mechanismus kommt der Wärmeausgleich bei lebenden Insekten zustande?

Daß bei dem lebenden Geradflügler der Wechsel der Körpertemperatur auch durch Wärmeaustausch zwischen dem Körper und der äusseren Luft durch Strahlung und Leitung stattfindet, ist ohne weiteres aus der Tatsache ersichtlich, daß der zeitliche Verlauf des Temperatúrausgleichs dem Gesetz von NEWTON ziemlich gut entspricht, wie die bereits angeführten Tabellen und Abbildungen zeigen.

Ausser dieses Wärmeaustausches ist es nötig, bei dem Wärmeausgleich des lebenden Organismus auch die Einwirkung der Wasserdampfabgabe und der Wärmeproduktion zu berücksichtigen. Die Wärmeproduktion fördert die Erwärmung einerseits und verlangsamt die Abkühlung andererseits. Das Verhältnis der Wärmeproduktion zur Verdunstungskälte beeinflusst den Verlauf des Temperatúrausgleichs, der nur durch Strahlung und Leitung erfolgt, in folgender Weise: Ist der erstere Faktor grösser als der letztere, so liegt die beobachtete Körpertemperatur immer über der durch das Newton'sche Gesetz theoretisch ermittelten; sonst wird das Umgekehrte eintreten. Daraus ist zu schliessen, dass die beobachtete Temperatur und die berechnete einander gleich sein werden, wenn diese beiden Faktoren ihrer Wirkung nach einander auch gleich sind. Nun will ich diese Beziehungen bei meinem Versuch erörtern.

Erwärmung. In bezug auf das Verhältnis zum Newton'schen Gesetz, verhält sich auch die Erwärmung der lebenden Heuschrecke ähnlich wie die der getöteten. Das heisst, bei trockener Luft ist die Temperatur immer niedriger als auf Grund des Gesetzes erwartet. Diese Abweichung ist jedoch etwas kleiner als bei dem getöteten Tier, denn die Stoffwechselwärme verkleinert die Verdunstungsabkühlung.

Da andererseits bei feuchter Luft die Transpiration sich beträchtlich vermindert, ist die beobachtete Temperatur stets höher als die berechnete.

Die Temperaturverhältnisse während der Endperiode des Ausgleichs stimmen aber nicht ganz mit dem oben Gesagten überein. Die beobachtete Temperatur ist hier immer niedriger als die berechnete, nicht nur bei trockener Luft, sondern auch bei feuchter, und zwar ist die Differenz grösser als die in der vorhergehenden Periode gefundene. Die Ursache hierzu ist in den folgenden Wärmeverhältnissen zu suchen. Wenn die Körpertemperatur schliesslich so hoch wie bis 35–40° C steigt, vermindert sich der Stoffwechsel resp. die Wärmebildung in hohem Grade, und die Wärmeaufnahme wird nun auch äusserst herabgesetzt infolge der kleinen Temperaturdifferenz zwischen dem Körper und der Umgebung, trotzdem die Wasserdampfabgabe nun mehr und mehr steigt. Infolge der gesteigerten Verdunstungsabkühlung liegt die beobachtete Temperatur immer unter derjenigen der umgebenden Luft.

Die Beobachtung, dass die Temperatur der lebenden Kaltblüter in der Regel bedeutend unterhalb der Lufttemperatur liegt, wenn diese so hoch ist, und dass mit deren Steigen die Differenz sich bedeutend vergrössert, ist auch von anderen Forschern gemacht worden. SOETBEER (1898) weist in seiner Zusammenstellung über die Körpertemperatur der poikilothermen Wirbeltiere auf diesbezügliche Angaben von CRAWFORD, DELAROCHE, SCHULZ, BERTHOLD, SOETBEER, DAVY, HUNTR, DUMERIL hin; auch BACHMETJEW, PIRSCH und NECHELES sind bei Insekten zur demselben Schluß gelangt.

In bezug auf den Erwärmungsvorgang bei der afrikanischen Wanderheuschrecke, *Schistocera gregaria*, und bei einem Käfer, *Scarites eurytus*, hat BODENHEIMER 1929 und im folgenden Jahre zusammen mit SAMBURSKI die Meinung geäußert, daß der Wärmeausgleich (bei Ausschluß aktiver Wärmeproduktion) nach der Newton'schen Formel erfolgt, und daß keine Schwankungen infolge von Verdunstung vorkommen. Dieses Übersehen des Verdunstungseinflusses ist vielleicht der geringen Empfindlichkeit seiner Thermonadel (1/4° C) zuzuschreiben.



Wie er selbst bemerkt, können in seinen Versuchen Schwankungen bis zu  $1^{\circ}\text{C}$  nicht bestritten werden.

**Abkühlung.** In der Anfangsperiode des Ausgleichs ist die Körpertemperatur bei trockener Luft immer niedriger als die Newton'sche theoretische Temperatur, da die Transpiration lebhafter ist als die Wärmeerzeugung, während bei feuchter Luft beide Temperaturen einander gleich sind, weil die beiderlei Vorgänge mit gleicher Intensität verlaufen. Es ist aber zu bemerken, daß mit der Zeit, mit dem Sinken der Körpertemperatur bis auf  $7-6^{\circ}\text{C}$  diese allmählich höher wird als die Newton'sche Temperatur, nicht nur bei feuchter Luft, sondern auch bei trockener, und endlich kommt sie mit der Temperatur der neuen Umgebung in einen bestimmten Gleichgewichtszustand. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die Wärmeretention im Körper, die entweder durch spezielle Vermehrung der Wärmeproduktion oder durch Verminderung der Verdunstungswärmeabgabe erfolgt, dabei eine wichtige Rolle spielt.

Wir finden auch zahlreiche Angaben, daß bei derartigen tiefen Lufttemperaturen die wechselwarmen Tiere im allgemeinen eine merklich höhere Temperatur besitzen als die Luft. Siehe die Ergebnisse betreffs der Wirbeltiere von PREVOST u. DUMAS, CZERMAK, BERTHOLD, SCHULZ u. a. in der Zusammenstellung von SOETBEER, und bei Insekten die von BACHMETJEW, PIRSCH, NECHELES und von mir (XI. Mitt. dieser Serie).

In bezug auf den Temperaturüberschuß bei niederen Temperaturen ist NECHELES der Ansicht, daß eine andere Möglichkeit als die des starken Ansteigens der Wärmebildung nicht bestehen kann, denn der Parallelversuch mit getöteten Tieren weist dieses Verhältnis nicht auf. Da aber bei meinem Versuchstiere weder Wärmeproduktion noch Verdunstungswärmeabgabe bei so tiefen Temperaturen untersucht wurden, kann ich nicht aussagen, auf welchem von beiden Faktoren, dem plötzlichen Ansteigen der Wärmeproduktion oder dem Herabsinken der Verdunstungswärmeabgabe, dieser Temperaturüberschuß beruht. Der Schluß, daß er auf eine für lebende Organismen charakteristische Regulierungseinrichtung zurückzuführen ist, scheint mir jedenfalls berechtigt.

### III. Vergleich der Erwärmungs- und Abkühlungsgeschwindigkeit

Es fragt sich, ob die Erwärmung oder die Abkühlung schneller vor sich geht, wenn am Anfang beider Prozesse die gleiche Temperaturdifferenz gegen die zu erreichende Umgebungstemperatur vorliegt. Bei meinen Versuchen betrug diese Temperaturdifferenz ungefähr 20° sowohl bei Erwärmung als auch bei Abkühlung. Die Luftfeuchtigkeit war nicht streng vergleichbar, die sogenannte „trockene Luft“ beim Abkühlungsversuch entsprach indessen ungefähr der relativen Feuchtigkeit von 30%, dagegen die „feuchte Luft“ der von 90%.

Die Geschwindigkeit des Wärmeausgleichs wird durch den Wert des Ausgleichsquotienten  $k$  der Newton'schen Formel ermittelt. In Tabelle 5 sind die Werte von  $k$  verzeichnet.

TABELLE 5.  
Quotient  $k$

Luftfeuchtigkeit	Getötete Tiere	Lebende Tiere
	Erwärmung	
30 %	0.12	0.15
60 %	0.20	0.26
90 %	0.34	0.38
	Abkühlung	
trock. Luft	0.20	0.18
feucht. Luft	0.41	0.39

Wie die Tabelle zeigt, sind die Werte von  $k$  immer grösser bei Abkühlung als bei Erwärmung. Dies ist begreiflich, wenn wir berücksichtigen, daß das Insekt der Einwirkung einer speziellen, strahlenden Wärme entzogen ist und die Erwärmung des Körpers bei der Wärmeaufnahme in erster Linie durch Leitung erfolgt, wobei diese Leitungswärmeaufnahme der sich in der Luft befindenden Poikilothermen infolge der kleineren spezifischen Wärme der Luft und der relativ grossen spezifischen Wärme der Körpersubstanz schlecht ist. Diese

Annahme findet eine Stütze in der Tatsache, daß die Geschwindigkeitsdifferenz kleiner ist bei feuchter Luft als bei trockener, denn die Differenz der spezifischen Luft- und Körperwärme ist bei feuchter Luft kleiner als bei trockener. Ich habe die spezifische Wärme des von mir benutzten Insekts nicht gemessen, aber es ist wohl aus dem Wassergehalt des Körpers zu entnehmen, daß sie vielleicht einem durchschnittlichen Wert von 0.83 nahe liegt, der durch BACHMETJEW (1902) für die Puppen von *Deilephila euphorbiae* und *Saturnia spini* ermittelt wurde. Jedenfalls ist sicher, daß die spezifische Wärme unserer Heuschrecke insgesamt kleiner ist als die des Wassers, aber weit grösser als die der Luft, denn die der Luft beträgt 0.24.

#### IV. Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf den Wärmeausgleich

Betrachten wir nun den Kurvenverlauf in den Abbildungen 1 und 2 und die Werte von  $k$  in Tabelle 5, so erkennen wir, daß die Geschwindigkeit des Wärmeausgleichs im wesentlichen von der Luftfeuchtigkeit abhängt. Bei trockener Luft erfolgt der Wärmeausgleich immer langsamer als bei feuchter.

Obgleich der Quotient  $k$  durch zahlreiche Faktoren, wie Oberfläche und Wärmekapazität des Körpers, Emissionsvermögen der Körperoberfläche sowie die Wärmeleitfähigkeit der Umgebung bedingt ist, kommt in meinen Versuchen nur der letztere Faktor in Frage, weil die untersuchten Individuen derselben Art von ungefähr gleichem Körpergewicht waren, und der Strahlungswärmeaustausch von dem Wassergehalt der Luft ganz unabhängig ist (WARBURG, GERLACH s. LANDOLT-BÖRNSTEIN's Physik.-Chem. Tab. Bd. 2, S.805, 1923). Daraus ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Ursache der Abkühlungsbeschleunigung bei feuchter Luft darin besteht, daß die Wärmeentziehung durch Leitung durch die grosse Anzahl der in der Luft suspendierten Wassermoleküle gefördert wird. Die Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist bei weitem grösser als die der Luft. Nach der Zusammenstellung von LANDOLT und BÖRNSTEIN (Physik.-Chem. Tab.) beträgt

z. B. die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda^*$  der atmosphärischen Luft bei 10°C nur  $0.55 \times 10^{-5}$  cal. (Ergebnis von LEES).

Bei feuchter Luft erfolgt die Erwärmung des Heuschreckenkörpers auch schneller als in trockener, weil in der ersteren die äussere Wärme zu der an den Körper grenzenden Luftschicht leichter geleitet wird als in der letzteren und, wie BODENHEIMER und SAMBURSKI bemerkten, die Wärmeaufnahme dieses Tieres durch die Luftfeuchtigkeit wegen der porösen Natur des äusseren Chitinpanzers erleichtert wird.

Auf diese Weise dürfte es sich bei der starken Beschleunigung des Temperaturwechsels durch die Feuchtigkeit der Luft um eine allgemeine Erscheinung handeln. Daraus ist ohne weiteres verständlich, daß der Temperaturwechsel der im Wasser lebenden und eine nasse Haut besitzenden Tiere bei Überführung in eine anders temperierte Umgebung sehr schnell erfolgt. ROGERS und LEWIS (1914) haben bei einem Regenwurm (*Lumbricus agricola*) gefunden, daß der Ausgleich einer Temperaturdifferenz von 10°C innerhalb von nur 2 Minuten erreicht wird.

## E. ZUSAMMENFASSUNG

Der zeitliche Verlauf der Temperaturveränderung von lebenden und getöteten Individuen der Heuschrecke *Gastrimargus transversus* THUNBERG wurde bei Überführung in eine konstant-hoch und niedrigtemperierte Luft von verschiedenen Feuchtigkeiten verfolgt.

Wenn die Heuschrecke aus einer Zimmertemperatur in eine andere Umgebungstemperatur gebracht wird, dann erfolgt bald ein Ausgleich zwischen der Körperwärme der Tiere und der Umgebungstemperatur, wobei aber Abweichungen verschiedenen Grades zwischen beiden Temperaturen zuletzt immer vorhanden sind.

Dieser Wärmeausgleich erfolgt durch Wärmeaustausch, Wärmeaufnahme bei Erwärmung und Wärmeabgabe bei Abkühlung, in erster Linie durch Leitung und Strahlung. Der zeitliche Verlauf wird durch die Newton'sche Formel

\*  $\lambda$  gibt die Wärmemenge an, die durch eine 1 cm dicke Platte pro 1 qcm und 1°C Temperaturdifferenz in einer Sekunde hindurchgeht

$$\theta - \theta_1 = (\theta_0 - \theta_1)e^{-kt}$$

ziemlich gut ausgedrückt.

An diesem Wärmeausgleich beteiligt sich bei getöteten Tieren, allerdings in sehr geringem Grade die Wasserverdunstung und bei lebenden ausserdem die Wärmeproduktion. Die Wasserdampfabgabe verzögert infolge ihrer Verdunstungskälte die Erwärmung und beschleunigt die Abkühlung, während die Wärmebildung die erstere fördert und die letztere verlangsamt.

Die Geschwindigkeit des Wärmeausgleichs ist grösser bei Abkühlung als bei Erwärmung.

Die Geschwindigkeit des Wärmeausgleichs hängt in hohem Grade von der Luftfeuchtigkeit ab. Bei trockener Luft erfolgt er viel langsamer als bei feuchter Luft.

## F. LITERATUR

- BACHMETJEW, P.: Experimentelle entomologische Studien. I. Temperaturverhältnisse bei Insekten. Leipzig (1901).
- : Kalorimetrische Messungen an Schmetterlingspuppen. Z. wiss. Zool. LXXI, 550-624 (1902).
- BALDWIN, F. M.: The relation of body to environmental temperatures in turtles, *Chrysemys marginata bellii* (GRAY) and *Chelydra serpentina* (LINN.). Biol. Bull. XLVIII, 432-445 (1925).
- BODENHEIMER, F. S.: Studien zur Epidemiologie, Ökologie und Physiologie der afrikanischen Wanderheuschrecke (*Schistocerca gregaria* FORSK.). Z. angew. Entom. XV, 435-557 (1929).
- BODENHEIMER, F. S. u. SAMBURSKI, K.: Ueber den Wärmeausgleich bei Insekten. Zool. Ang. LXXXVI, 208-211 (1930).
- DILLEWIN, C. van u. JACOB, J. C.: Temperatur und Erregbarkeit bei *Helix pomatia*. Pflügers Arch. CCV, 188-200 (1924).
- KOIDSUMI K.: Allgemeine Nachweise und quantitative Bestimmungen der tierischen Transpiration (Experimentelle Studien über die Transpiration und den Wärmehaushalt bei Insekten I.). Mem. Fac. Sci. Agri. Taihoku Imp. Univ. XII (1), 1-19 (1934).
- : Transpirationsgrösse an verschiedenen Stellen des Insektenkörpers ( „ II.). Ebenda, XII (1), 21-40 (1934).
- : Ueber die physiologischen Komponenten der tierischen Transpiration bei Insekten ( „ III.). Ebenda, XII (1), 41-79 (1934).
- : Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Insektentranspiration ( „ IV.). Ebenda, XII (1), 81-107 (1934).
- : Einfluss der Lufttemperatur auf die Insektentranspiration ( „ V.). Ebenda, XII (1), 109-124 (1934).

- : Einfluss der Luftbewegung und des Lichtes auf die Insektentranspiration ( „ VI.). Ebenda, XII (1), 125-136 (1934).
- : Ueber den zeitlichen Verlauf der Transpiration verschiedener Insekten bei verschiedener Luftfeuchtigkeit ( „ VII.) Ebenda, XII (1), 137-179 (1934).
- : Beziehungen der Bilanz des Wärmehaushaltes zur Temperatur des Insektenkörpers bei konstanter Lufttemperatur ( „ VIII.). Ebenda, XII (3), 281-315 (1935).
- NECHELES, H.: Ueber Wärmeregulation bei wechselwarmen Tieren. Pfügers Arch. CCIV, 72-86 (1924).
- PIRSCH, G. B.: Studies on the temperature of individual insects with special reference to the honey bee. Jour. agri. Res. XXIV, 275-287 (1923).
- PEARSE, A. S. u. HALL, F. G.: Homiothermism. New York (1928).
- ROGERS, C. G. u. LEWIS, E. M.: The relation of the body temperature of the earthworm to that of its surroundings. Biol. Bull, XXVII, 262-268 (1914).
- SOETBEER, F.: Ueber die Körperwärme der poikilothermen Wirbeltiere. Arch. exp. Path. u. Pharm. XL, 53-80 (1898).



## X. MITTEILUNG

### Ueber die Wege der Wärmeabgabe der Insekten

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, September 27, 1934)

---

#### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung ... ..	339
B. Material und Methoden ... ..	342
C. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	342
I. Versuche mit <i>Anomala expansa</i> BATES ... ..	342
II. Versuche mit <i>Clania variegata</i> SNELLEN ... ..	345
D. Verhältnis der Wasserdampfabgabe zu Wärmestrahlung und -leitung in der gesamten Wärmeabgabe der In- sekten ... ..	346
E. Zusammenfassung ... ..	348
F. Literatur ... ..	348

---

#### A. EINLEITUNG

In der vorhergehenden Mitteilung habe ich berichtet, dass bei einem Temperaturfall in der Umgebungsluft auch die Körpertemperatur der in dieser lebenden Insekten infolge von Leitung und Strahlung sinkt, bis sie schliesslich der neuen Aussentemperatur gleich wird. In der vorliegenden Abhandlung möchte ich die Frage erörtern, auf



welchem Wege die Insekten und die poikilothermen Tiere im allgemeinen ihre Körperwärme nach aussen abgeben, wenn die Aussen-temperatur sich nicht verändert, sondern konstant bleibt. Dieses Problem wurde zum Teil schon in der VIII. Mitt. besprochen.

Es ist des öfteren die Vermutung ausgesprochen worden, dass die Wärmeabgabe der in der Luft lebenden Poikilothermen nur durch Wasserverdunstung erfolge und keine Abgabe durch Leitung und Strahlung stattfinde, weil sie immer dieselbe Körpertemperatur besitzen wie die Umgebung. Diese Annahme ist ohne Zweifel richtig, wenn die Temperatur der Tiere entweder niedriger als die Lufttemperatur oder dieser ganz gleich ist. Wenn die Lufttemperatur aber niedriger ist als die Temperatur der Tiere, liegt die Annahme nahe, dass ein Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung auch bei Kaltblütern vorhanden ist. Nur wenige exakte Studien zu dieser Frage liegen in der Literatur vor. Die Tatsache, dass die im Wasser wohnenden Tiere ihre Körperwärme ganz durch Leitung abgeben können, ist aber dank verschiedenen Forschern, z. B. WINTERSTEIN (1908), RUBNER (1924) oder KRUMMACHER (1919) gut bekannt. Es ist auch für die die Luft bewohnenden Kaltblüter festgestellt worden, dass eine Wärmeabgabe durch Leitung stattfindet, wenn die Luft dampf-gesättigt ist. Mit Hilfe des Rubner'schen Kalorimeters sind KREHL und SOETBEER (1899) bei einigen Reptilien und Amphibien, und HILL (1911) mittels seines eigenen Kalorimeters bei Fröschen, Schlangen, Eidechsen und Würmern zu diesem Resultat gekommen.

Dass im Wasser oder in der mit Wasserdampf gesättigten Luft Wärmeabgabe durch Leitung für die Kaltblüter in Betracht kommt, ist ohne weiteres daraus ersichtlich, dass in so beschaffenem Medium keine oder sehr minimale Wärmemengen durch Wasserverdunstung verloren gehen. Wenn wir aber berücksichtigen, dass die Körpertemperatur der poikilothermen Tiere im allgemeinen derjenigen der Umgebungsluft sehr ähnlich ist und dass in der Luft von gewöhnlicher Feuchtigkeit oder bei trockener Luft die Tiere an der Wasserabgabe keineswegs gehindert sind, sondern durch Verdunstung eine grosse Wärmemenge verlieren, dann versteht sich von selbst, dass Strahlung

und Leitung nur eine sehr geringe Rolle bei dem Wärmeverlust derartiger Tiere spielen. In der Tat haben KREHL und SOETBEER berechnet, wie gross der durch Verdunstung verursachte Wärmeverlust bei einigen Poikilothermen ist. Nach ihnen fallen bei Tieren, wie Ochsenfrosch, Krokodil, Riesenschlange 200–300 Proz. der gesamten Wärmeabgabe der Wasserverdunstung zu. Diese Angabe ist später von RUBNER (1924 b) bei dem grünen Wasserfrosch und bei der Schildkröte bestätigt worden.

Neuerdings hat BENEDICT (1932) die Rectaltemperatur, Hauttemperatur, Wärmeproduktion (berechnet aus der  $\text{CO}_2$ -Produktion) und Wasserdampfabgabe bei zwei Riesenschlangen (*Boa* und *Python*) gemessen und gefunden, dass nicht nur die Hauttemperatur, sondern auch die Rectaltemperatur in den meisten Fällen niedriger ist als die Temperatur der umgebenden Luft und dass die Wärmeabgabe durch Transpiration die Wärmeproduktion meist übertrifft. Aus diesen Ergebnissen folgerte er, dass ein unmittelbarer Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung bei diesen Schlangen vielleicht nicht vorkommt und führte einige direkte kalorimetrische Untersuchungen aus, um zu prüfen, ob diese Annahme richtig ist. Die Versuche bestätigten seine Vermutung, d. h. er konnte keinen Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung nachweisen, sondern fand vielmehr, dass *Python* etwas Wärme aus der umgebenden Luft aufnimmt. Wenn wir aber seine Resultate im einzelnen betrachten, finden wir, dass er des öfteren mit Fällen zu tun hatte, in denen die Körpertemperatur höher war als die Umgebungstemperatur, und die Wärmebildung grösser als die Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung (s. Benedict's Originaltabelle Nr. 23, S. 128). Ich glaube, dass er nur darum keine Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung, die ja in solchen Fällen vorhanden sein musste, feststellen konnte, weil das von ihm benutzte Differentialkalorimeter, das eigentlich für die Bestimmung der Wärmeproduktion von grossen Warmblütern (z. B. Schwein) bestimmt war, nicht empfindlich genug und daher ungeeignet war für die Bestimmung von so kleinen Wärmemengen wie die bei Kaltblütern in Frage kommenden. Ausser der Untersuchung von BENEDICT beziehen sich fast sämtliche

andere Arbeiten auf im Wasser oder in wassergesättigter Luft sich befindliche Kaltblüter, während Luft von gewöhnlichem Feuchtigkeitsgehalt kaum jemals untersucht wurde.

Ich habe schon früher (VIII. Mitt.) einige Versuche bei einer Heuschrecke, *Gastrimargus transversus*, angestellt, und fand dabei, dass obwohl die Wärmeabgabe dieses Insekts in erster Linie durch Wasserverdunstung erfolgt, auch Leitung und Strahlung sich an diesem Prozess, je nach der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft, beteiligen.

Die folgenden Untersuchungen dienen zur Ergänzung der Studien über dieses Problem.

## B. MATERIAL UND METHODEN

Als Versuchsmaterial dienten folgende Insekten. *Anomala expansa* BATES (Scarabaeidae: Coleoptera) und *Clania variegata* SNELLEN (Psychidae: Lepidoptera), die letztere im Raupenzustand.

Die bei den Bestimmungen der Körpertemperatur, Wasserdampf-abgabe sowie Strahlung und Leitung benutzten Methoden waren die gleichen wie die in der VIII. Mitt. beschriebenen, so dass eine nochmalige Beschreibung sich erübrigt.

## C. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

### I. Versuche mit *Anomala expansa* BATES

#### a) Körpertemperatur

Folgende Tabelle gibt die durchschnittliche Differenz zwischen Bauchhöhlentemperatur, die durch Messung von je 10 Tieren ermittelt wurde, und der Temperatur der umgebenden Luft an. Bei Temperaturen von 20° und 30° war die Temperatur der Tiere immer höher als die der Umgebung, bei 30° jedoch war die erstere niedriger als die letztere bei den relativen Feuchtigkeiten von 30 und 60%.

TABELLE 1.

Differenzen zwischen Bauchhöhlentemperatur bei *Anomala expansa* BATES und Lufttemperatur.

Temp. °C	Feucht. %	Differenz °C
10	30	+ 0.92
	60	+ 0.57
	90	+ 0.89
20	30	+ 0.35
	60	+ 0.59
	90	+ 1.60
30	30	− 0.82
	60	− 0.01
	90	+ 0.61

## b) Wasserverdunstung

In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der transpirierten Wassermengen von 10 Insekten, immer aus dreimaligen Versuchen, verzeichnet. Die

TABELLE 2.

Wasserdampfabgabe bei *Anomala expansa* BATES.

Temp. °C	Feucht. %	Körpergewicht g	H <sub>2</sub> O-Verd. in 5 Std. g	H <sub>2</sub> O-Verd. p. Kg. u. Std. g
10	30	10.8681	0.1074	1.9764
	60	11.2375	0.0726	1.2922
	90	10.5954	0.0432	0.8154
20	30	10.9257	0.2175	3.9814
	60	10.8794	0.1925	3.5388
	90	11.2422	0.0910	1.6190
30	30	11.0713	0.2855	5.0791
	60	12.9760	0.2165	3.3369
	90	11.1706	0.1248	2.2344

Ergebnisse stimmen durchaus mit den Befunden bei vielen anderen Insekten überein, über die ich schon in verschiedenen vorhergehenden Berichten mitgeteilt habe (vgl. IV., V. und VIII. Mitt. dieser Serie). Die transpirierte Wassermenge fällt oder steigt mit zunehmender bzw. abnehmender relativer Feuchtigkeit der Luft, steigt aber immer mit der Temperatur.

### c) Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung

Wenn die Temperatur der Tiere höher war als die Lufttemperatur, konnte ich immer Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung nachweisen, war das Verhältnis aber umgekehrt, dann fielen die Versuche immer negativ aus. Die durch Leitung und Strahlung verlorene Wärmemenge war im allgemeinen grösser bei feuchter Luft als bei trockener. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse dieser kalorimetrischen Untersuchungen eingetragen (bei je 10 Insekten erhaltene Mittelwerte aus 3 Versuchen) samt der latenten Verdunstungswärme und der gesamten abgegebenen Wärmemenge.

TABELLE 3.

Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung und durch Wasserverdunstung sowie gesamte Wärmeabgabe bei *Anamala expansa* BATES.

Temp. °C	Feucht. %	Leitung & Strahlung p. Kg. u. Std. g-cal.	Verdunstungs- kälte p. Kg u. Std. g-cal.	Gesamte Wärmeabgabe g-cal.
10	30	130.71	1167.78	1298.49
	60	124.04	763.49	887.53
	90	171.52	481.79	653.31
20	30	124.18	2331.43	2455.61
	60	205.66	2072.25	2277.91
	90	252.35	948.02	1200.37
30	30	kein	2946.94	2946.94
	60	kein	1936.10	1936.10
	90	224.34	1303.62	1527.96

II. Versuche mit *Clania variegata* SNELLEN

Da die wesentlichen Ergebnisse aller Untersuchungen an den Raupen von *Clania variegata* ganz ähnlich waren wie die Befunde bei

TABELLE 4.  
Differenzen zwischen Bauchhöhlentemperatur von *Clania variegata*  
SNELLEN und Lufttemperatur.

Temp. °C	Feucht. %	Differenz °C
10	30	+ 0.72
	60	+ 0.74
	60	+ 0.85
20	30	+ 0.17
	60	+ 0.59
	90	+ 0.91
30	30	- 0.85
	60	- 0.03
	90	+ 0.93

TABELLE 5.  
Wasserdampfabgabe bei *Clania variegata* SNELLEN.

Temp. °C	Feucht. %	Körpergewicht g	H <sub>2</sub> O-Verd. in 5 Std. g	H <sub>2</sub> O-Verd p. Kg. u. Std. g
10	30	8.6892	0.1413	3.2351
	60	9.1326	0.1090	2.3988
	90	7.8033	0.0589	1.5097
20	30	10.9014	0.4171	7.6531
	60	8.9774	0.2350	5.2345
	90	8.1808	0.1403	3.4427
30	30	9.8611	0.7471	15.1532
	60	10.1147	0.5762	11.3924
	90	7.4992	0.2333	6.2210

*Anomala expansa*, möchte ich mich hier auf Tabellen (Tab. 4–6) beschränken. Die in diesen angeführten Zahlen stellen Mittelwerte dar, die jedesmal aus 3 Versuchen berechnet wurden. Zu jedem Versuch dienten 10 Tiere.

TABELLE 6.

Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung und durch Wasserverdunstung sowie gesamte Wärmeabgabe bei *Clania variegata* SNELLEN.

Temp. °C	Feucht. %	Leitung & Strahlung p. Kg. u. Std. g-cal.	Verdunstungskälte p. Kg. u. Std. g-cal.	Gesamte Wärmeabgabe g-cal.
10	30	203.33	1922.13	2125.46
	60	177.41	1417.36	1594.77
	90	258.70	892.02	1150.72
20	30	kein	4481.50	4481.50
	60	151.69	3065.22	3216.91
	90	227.22	2015.98	2243.20
30	30	kein	8792.04	8792.04
	60	kein	6609.98	6609.98
	90	194.56	3609.49	3804.05

#### D. VERHÄLTNIS DER WASSERDAMPFABGABE ZU WÄRMESTRAHLUNG UND -LEITUNG IN DER GESAMTEN WÄRMEABGABE DER INSEKTEN

Wir haben auf diese Weise zwei wichtigste auf die Wärmeabgabe der Insekten wirkende Faktoren kennen gelernt.

Es fragt sich nun, in welcher quantitativen Beziehung diese beiden Faktoren zueinander stehen. Dieses Verhältnis, in Prozenten umgerechnet, ist für *Anomala expansa* und *Clania variegata* sowie für *Gastrimargus transversus* (vgl. VIII. Mitt., Tab. 7) aus Tabelle 7 zu ersehen.

Aus dieser Tabelle geht deutlich hervor, dass die Wärmeabgabe bei diesen Insekten in der Hauptsache durch Wasserdampfabgabe

TABELLE 7.

Verhältnis zwischen Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung und durch Wasserverdunstung in der gesamten Wärmeabgabe von *Anomala expansa*, *Clania variegata* und *Gastrimargus transversus* in Prozentzahlen.

Temp. °C	Feucht. %	Verhältniszahlen (%)					
		<i>Anomala expansa</i>		<i>Clania variegata</i>		<i>Gastrimargus transversus</i>	
		Strahl. und Leitung	Wasser- verdunst.	Strahl. und Leitung	Wasser- verdunst.	Strahl. und Leitung	Wasser- verdunst.
10	30	10.1	89.9	9.1	81.9	0	100
	60	13.9	86.1	11.1	88.9	6.7	93.4
	90	26.2	73.8	22.5	77.5	16.6	83.4
20	30	5.1	94.9	0	100	0	100
	60	9.0	91.0	4.7	95.3	0	100
	90	21.0	79.0	10.0	90.0	4.1	95.9
30	30	0	100	0	100	0	100
	60	0	100	0	100	0	100
	90	14.6	85.4	5.1	94.9	2.6	97.4

ausgeführt wird, und Leitung und Strahlung hingegen nur in sehr geringem Grade daran beteiligt sind. D. h. unter allen untersuchten Luftbedingungen beträgt die latente Wärme der Verdunstung 80–100% der gesamten Wärmeabgabe, während auf Wärmeleitung und -strahlung nur 0–20% entfallen.

Bei den Warmblütern zeigen diese beiden Faktoren das entgegengesetzte Verhältnis. Es ist berechnet worden, dass z. B. beim Menschen rund 75% der gesamten im Körper produzierten Wärme bei gewöhnlichen Zimmertemperaturen durch Strahlung und Leitung verloren gehen und nur 25% durch Wasserdampfausscheidung mittels Lunge und Haut, obwohl die Verhältnisse im einzelnen von der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft abhängig sind (s. RUBNER 1911).

Es ist auch aus der Tabelle zu ersehen, dass bei den untersuchten Insekten Wärmestrahlung und -leitung je nach der Lufttemperatur und -feuchtigkeit gänzlich fehlen können, und die Wärmeabgabe in



solchen Fällen demnach völlig durch Wasserverdunstung ausgeführt wird. Unter diesen Umständen war die der transpirierten Wassermenge entsprechende Wärme immer grösser als die im Körper produzierte, ferner zeigte die kalorimetrische Untersuchung, dass Wasser in Dampf umwandelnde Wärme zum Teil der Luft entnommen wird. Dieselbe Erscheinung finden wir auch bei Reptilien und Amphibien nach den Untersuchungen von KREHL u. SOETBEER, RUBNER (1924 b) und BENEDICT. Und die Fähigkeit des Insektenkörpers, Wärme aus der umgebenden Luft aufzunehmen, ist bisher sichergestellt worden durch Untersuchungen z. B. von BUXTON (1924), BODENHEIMER (1929), BODENHEIMER und SAMBURSKI (1930), FRANZ (1930) und von mir (s. IX. Mit. dieser Serie).

Aus der Tabelle 7 geht hervor, dass das Verhältnis der beiden am Wärmeverlust beteiligten Faktoren je nach der Luftfeuchtigkeit verschieden ist. Bei allen Insekten nimmt der Prozentsatz des Wärmeverlustes durch Strahlung und Leitung mit dem Anwachsen der relativen Feuchtigkeit zu, während die Verdunstung sich bei feuchter Luft verringert.

## E. ZUSAMMENFASSUNG

Bei konstanter Lufttemperatur geben die Insekten auf zwei Wegen Wärme ab, nämlich durch Wasserdampfabgabe und durch Leitung und Strahlung.

Innerhalb der untersuchten Temperaturgrenzen (10–30°C) erfolgt aber die Wärmeabgabe in erster Linie durch Wasserverdunstung; sie beträgt in allen Fällen etwa 80–100% der gesamten Abgabe, während Leitung und Strahlung nur 0–20% ausmachen. Bei den Warmblütern ist das Verhältnis dieser beiden Faktoren umgekehrt.

## F. LITERATUR

- BENEDICT, F. G.: The physiology of large Reptiles. Publ. Carnegie Inst. Washington (1932).
- BODENHEIMER, F. S.: Studien zur Epidemiologie, Ökologie, und Physiologie der afrikanischen Wanderheuschrecke (*Schistocera gregaria* FORKS.) Z. angew. Entom. XV, 435–557 (1929)

- BODENHEIMER, F. S. u. SAMBURSKI, K.: Ueber den Wärmeausgleich bei Insekten. Zool. Anz. LXXXVI, 208-211 (1930).
- BUXTON, P. A.: Heat, moisture and animal life in deserts. Proc. roy. Soc. Lond. B. XCVI, 123-131 (1924).
- FRANZ, H.: Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Poikilothermen. Biol. Ztbl. L, 158-182 (1930).
- HILL, A. V.: A new form of differential micro-calorimeter for the estimation of heat production in physiological, bacteriological or ferment actions. Jour. Physiol. XLIII, 261-285 (1911).
- : The total energy exchange of intact cold-blooded animals at rest. Ebenda XLIII, 379-394 (1911).
- KOIDSUMI, K.: Allgemeine Nachweise und quantitative Bestimmungen der tierischen Transpiration (Experimentelle Studien über die Transpiration und den Wärmehaushalt bei Insekten I.). Mem. Fac. Sci. Agri. Taihoku Imp. Univ. XII (1), 1-19 (1934).
- : Transpirationsgrösse an verschiedenen Stellen des Insektenkörpers ( „ II. ). Ebenda, XII (1), 21-40 (1934).
- : Ueber die physiologischen Komponenten der tierischen Transpiration bei Insekten ( „ III. ). Ebenda, XII (1), 41-79 (1934).
- : Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Insektentranspiration ( „ IV. ). Ebenda, XII (1), 81-107 (1934).
- : Einfluss der Lufttemperatur auf die Insektentranspiration ( „ V. ). Ebenda, XII (1), 109-124 (1934).
- : Einfluss der Luftbewegung und des Lichtes auf die Insektentranspiration ( „ VI. ). Ebenda, XII (1), 125-136 (1934).
- : Ueber den zeitlichen Verlauf der Transpiration verschiedener Insekten bei verschiedener Luftfeuchtigkeit ( „ VII. ). Ebenda, XII (1), 137-179 (1934).
- : Beziehungen der Bilanz des Wärmehaushaltes zur Temperatur des Insektenkörpers bei konstanter Lufttemperatur ( „ VIII. ). Ebenda, XII (3), 281-315 (1935).
- : Ueber den Mechanismus des Temperaturwechsels bei Insekten ( „ IX. ). Ebenda, XII (3), 317-337 (1935).
- KREHL, L. u. SOETBEER, F.: Untersuchungen über die Wärmeökonomie der poikilothermen Wirbeltiere. Pflügers Arch. LXXVII, 611-638 (1899).
- KRUMMACHER, O.: Untersuchungen über die Wärmeentwicklung der Spulwürmer. Z. Biol. LXIX, 304 (1919).
- RUBNER, M.: Thermische Wirkung der Luftfeuchtigkeit. Arch. Hyg. XI, 255-292 (1890).
- : Handbuch der Hygiene. I. (1911).
- : Respirationskalorimeter in Dauerversuche. Handb. d. physiol. Meth. (herg. von TIEGERSTEDT) I (1911).
- : Aus dem Leben des Kaltblüters. I. Die Fische, II. Amphibien und Reptilien. Biochem. Z. CXLVIII, 222-267 u. 268-307 (1924).
- WINTERSTEIN, H.: Beiträge zur Kenntnis der Fischatmung. Pflügers Arch. CXXV, 73-98 (1908).



## XI. MITTEILUNG

### Einfluss der Lufttemperatur und -feuchtigkeit auf die Körpertemperatur der Insekten

(Mit 3 Textabbildungen)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, September 27, 1934)

#### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung ... ..	351
B. Material und Methoden ... ..	352
C. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	354
I. Versuche mit getöteten Tieren ... ..	354
II. Versuche mit lebenden Tieren ... ..	356
III. Abhängigkeit der Körpertemperatur von der Luft- temperatur ... ..	358
IV. Abhängigkeit der Körpertemperatur von der Luft- feuchtigkeit ... ..	364
D. Körperwärme und Eigentemperatur ... ..	369
E. Zusammenfassung ... ..	370
F. Literatur ... ..	371

#### A. EINLEITUNG

Wenn wir verschiedene Angaben über die Körpertemperatur der Kaltblüter in den Zusammenstellungen z. B. von SOETBEER (1898), BACHMETJEW (1901), TIEGERSTEDT (1910-14), ROGERS und LEWIS (1914, 1916) oder von PEARSE und HALL (1928) überblicken, finden wir, dass verschiedene Forscher oft zu verschiedenen Resultaten gelangt sind:

[Mem. of the Fac. of Sci. and Agr., Taihoku Imp. Univ., Formosa, Japan, Vol. XII,  
No. 3 February, 1935.]

für eine und dieselbe Tierart geben die einen eine höhere, die anderen eine niedrigere Körpertemperatur an als die der umgebenden Luft. Oder der Temperaturüberschuss eines Tieres über die umgebende Luft ist bei den einen klein, bei den anderen sehr bedeutend usw.

Die Ursache dieser Nichtübereinstimmung liegt zum Teil in der Verschiedenheit oder auch Ungenauigkeit der Messmethoden, dürfte aber in der Hauptsache darauf beruhen, dass verschiedene Faktoren auf die Eigentemperatur der Poikilothermen einen bedeutenden Einfluss haben.

Die drei Faktoren, Wärmeaufnahme, Wärmeproduktion und Wärmeabgabe, durch deren ineinandergreifende Wirkungen die Körpertemperatur der lebenden Organismen in der Regel bedingt ist, sind in hohem Grade von verschiedenen äusseren wie inneren Bedingungen abhängig. Da den Kaltblütern die Fähigkeit diese drei an der Körpertemperatur beteiligten Faktoren zu regulieren völlig oder in sehr hohem Grade abgeht, muss man, um die Resultate verschiedener Experimente miteinander zu vergleichen, die Versuche unter denselben äusseren wie inneren Bedingungen ausführen.

Von dieser Mitteilung an möchte ich die Wirkung dieser die Körpertemperatur beeinflussenden Faktoren analysieren.

Die Untersuchungen, mit denen sich die vorliegende Mitteilung befasst, betreffen den Einfluss der Temperatur und Feuchtigkeit der Umgebungsluft auf die Temperatur nicht nur von lebenden, sondern auch von getöteten Individuen derselben Spezies.

## B. MATERIAL UND METHODEN

Als Versuchsobjekte dienten Imagines von folgenden Insekten: *Anomala expansa* BATES (Scarabaeidae: Coleoptera; ♂ und ♀), *Orthetrum sabina* DRURY (Libellulidae: Odonata; nur ♂).

Für die Temperaturmessungen benutzte ich die thermoelektrische Methode, deren ausführliche Beschreibung in der VIII. Mitt. dieser Reihe gegeben wurde.

Im folgenden seien nur die wichtigsten Punkte hervorgehoben

- 1) Die Empfindlichkeit der benutzten Thermonadel war  $0.009^{\circ}\text{C}$  für jedes mm der Galvanometerskala.
- 2) Bei den Käfern wurde die Thermonadel in den Enddarm eingeführt und bis in die Mitte des Abdomens vorgeschoben, was ohne fühlbaren Widerstand möglich war; bei den Libellen ( $\delta$ ) wurde sie dagegen in eine Vertiefung der ventralen Haut des zweiten abdominalen Gliedes, wo der Penis sich befindet, hineingesteckt und bis zur Mitte des Synthorax vorgeschoben. Es handelt sich daher um die Abdomentemperatur bei *Anomala* und um die Thoraxtemperatur bei *Orthetrum*.
- 3) Unmittelbar nach der Bestimmung der Körpertemperatur wurde stets die Temperatur der umgebenden Luft gemessen und mit der ersteren verglichen.
- 4) Die Feststellung der Körpertemperatur wurde immer 30–35 Minuten nach der Überführung der Tiere in die neue zu untersuchende Luft ausgeführt, denn es war schon aus den Vorversuchen bekannt, dass der Wärmeausgleich innerhalb des untersuchten Spielraums der Umgebungstemperatur wenigstens 10–25 Minuten erfordert.
- 5) Die Geschwindigkeit der Luftströmung durch den gesamten Apparat, mit dem die vorliegende Untersuchung ausgeführt wurde, betrug 800 ccm pro Minute (vgl. Abb. 3, VIII. Mitt.).
- 6) Die Körpertemperatur der Leichen wurde unmittelbar nach einstündiger Einwirkung des Blausäuregases auf die Versuchstiere gemessen.
- 7) Bei jedem Versuche wurden immer 5 Insekten verwendet; mitgeteilt werden nur die Mittelwerte.

## C. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

## I. Versuche mit getöteten Tieren

TABELLE 1.

Durchschnittliche Temperaturdifferenzen zwischen Körper und Luft bei  
getöteter *Anomala expansa* BATES.

Feucht. Temp. °C	30	35	40	45	50	55	60
3.38- 3.68	-0.82	-0.45	-0.52	-0.60	-0.82	-0.67	-0.60
7.13- 7.73	-0.66	-0.48	-0.45	-0.53	-0.52	-0.68	-0.75
11.05-11.46	-0.63	-0.37	-0.23	-0.30	-0.38	-0.45	-0.53
15.03-15.75	-1.25	-1.20	-1.05	-0.52	-0.53	-0.67	-0.38
20.48-20.70	-1.08	-0.53	-0.17	±0.00	-0.23	-0.15	-0.07
25.52-26.26	-1.50	-1.09	-0.97	-0.88	-0.71	-0.65	-0.30
30.24-30.71	-1.07	-0.77	-0.61	-0.61	-0.63	-0.38	-0.30
35.25-35.50	-1.40	-1.10	-0.93	-0.85	-0.76	-0.76	-0.72
40.57-40.97	-2.17	-1.96	-1.70	-1.37	-1.47	-1.17	-0.99
44.55-44.67	-2.77	-1.91	-1.68	-1.61	-1.61	-1.67	-1.60
Feucht. Temp. °C	65	70	75	80	85	90	95
3.38- 3.68	-0.68	-0.75	+0.17	-0.03	+0.03	-0.05	+0.04
7.13- 7.73	-0.45	-0.53	-0.15	-0.08	-0.23	-0.04	-0.09
11.05-11.46	-0.52	-0.45	-0.37	-0.15	±0.00	+0.07	+0.03
15.03-15.75	-0.37	-0.30	-0.30	-0.15	±0.00	±0.00	±0.00
20.48-20.70	-0.29	-0.21	-0.05	±0.00	+0.04	+0.10	+0.18
25.52-26.26	-0.35	-0.18	-0.24	-0.15	-0.13	±0.00	+0.09
30.24-30.71	-0.15	±0.00	±0.00	+0.03	+0.09	+0.04	+0.06
35.25-35.50	-0.63	-0.61	-0.55	-0.54	-0.47	-0.45	-0.32
40.57-40.97	-0.52	-0.55	-0.46	-0.41	-0.30	-0.31	-0.43
44.55-44.67	-1.52	-1.51	-1.52	-1.40	-1.39	-1.38	-1.06

TABELLE 2.

Durchschnittliche Temperaturdifferenzen zwischen Körper und Luft bei  
getötetem *Orihetrum sabina* DRURY.

Feucht. % Temp. °C	30	35	40	45	50	55	60
3.45- 4.03	-0.36	-0.21	-0.22	-0.23	-0.19	-0.42	-0.18
7.10- 7.57	-0.48	-0.53	-0.33	-0.54	-0.28	-0.21	-0.24
12.89-13.36	-0.68	-0.68	-0.57	-0.34	±0.00	-0.15	-0.15
18.51-19.02	-0.80	-0.69	-0.68	-0.39	-0.52	-0.41	-0.26
25.47-25.98	-1.16	-0.87	-0.93	-0.79	-0.81	-0.70	-0.54
30.78-31.27	-1.38	-1.24	-1.21	-1.51	-0.95	-1.01	-0.78
35.38-35.65	-1.19	-0.92	-0.63	-0.43	-0.49	-0.08	-0.21
41.13-41.48	-1.52	-1.26	-1.37	-1.28	-1.24	-1.22	-1.03
44.21-44.53	-2.18	-2.13	-1.40	-0.77	-0.56	-0.82	-0.54
Feucht. % Temp. °C	65	70	75	80	85	90	95
3.45- 4.03	-0.13	-0.01	+0.02	-0.05	+0.02	±0.00	+0.05
7.10- 7.57	-0.10	-0.22	+0.09	-0.15	+0.06	-0.02	+0.03
12.89-13.36	-0.09	±0.00	-0.01	±0.00	±0.00	-0.12	-0.10
18.51-19.02	-0.32	-0.23	-0.11	+0.02	+0.01	±0.00	+0.03
25.47-25.98	-0.30	-0.14	-0.12	-0.12	-0.12	±0.00	±0.00
30.78-31.27	-0.56	-0.23	-0.48	-0.17	-0.13	-0.02	+0.01
35.38-35.65	-0.47	-0.39	-0.20	+0.07	-0.07	+0.06	-0.13
41.13-41.48	-0.90	-0.50	-0.37	-0.68	-0.37	-0.26	-0.16
44.21-44.53	-0.82	-0.57	-0.60	-0.43	-0.50	-0.50	-0.53





TABELLE 4.

Durchschnittliche Temperaturdifferenzen zwischen Körper und Luft bei lebendem *Orthetrum sabina* DRURY.

Feucht. Temp. °C	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
3.38-4.28	+2.26	+1.99	+1.93	+2.62	+2.19	+1.80	+1.80	+1.80	+2.47	+2.70	+1.87	+1.89	+2.23	+2.91
6.83-7.05	+1.59	+1.58	+1.65	+1.72	+1.80	+1.80	+1.72	+1.87	+1.73	+1.80	+1.82	+1.97	+1.99	+2.02
9.85-10.10	+0.99	+0.96	+0.92	+0.90	+1.05	+0.82	+0.98	+1.05	+1.07	+1.05	+1.20	+1.27	+1.30	+1.38
12.45-12.98	+0.64	+0.68	+0.60	+0.68	+0.60	+0.62	+0.61	+0.60	+0.63	+0.52	+0.53	+0.52	+0.65	+0.63
14.93-15.30	+0.45	+1.05	+0.45	+0.60	+0.75	+0.60	+0.37	+0.67	+0.68	+0.69	+0.68	+0.75	+0.74	+0.86
16.88-17.24	-0.63	-0.60	-0.53	-0.45	-0.23	± 0.00	+0.07	+0.15	+0.22	+0.45	+0.97	+1.01	+0.96	+1.15
21.25-21.75	-0.22	+0.15	+0.39	+0.38	+0.19	+0.16	+0.21	+0.16	+0.17	+0.15	+0.80	+0.42	+0.60	+1.12
23.57-23.94	-1.15	-1.41	-0.70	-0.78	-0.83	-0.70	-0.29	-0.31	-0.16	-0.08	+0.01	+0.16	+0.48	+0.68
25.72-25.94	-1.70	-1.69	-1.56	-1.50	-1.24	-0.91	-0.73	-0.46	-0.21	-0.06	± 0.00	+0.17	+0.35	+0.68
29.47-29.93	-1.18	-1.25	-1.30	-1.16	-1.10	-1.82	-1.60	-1.45	-1.29	-1.08	-0.91	-0.61	-0.30	-0.09
33.70-34.18	-2.10	-1.89	-1.89	-1.15	-1.08	-0.99	-0.84	-0.84	-0.70	-0.63	-0.32	-0.16	-0.16	-0.15
36.03-36.81	-2.22	-2.18	-1.91	-1.63	-1.23	-1.14	-0.97	-0.89	-0.74	-0.94	-0.86	-0.71	-0.70	-0.62
38.78-39.11	-1.90	-1.88	-1.89	-0.76	-0.61	-0.70	-0.78	-0.79	-0.69	-0.79	-0.79	-0.77	-0.52	-0.45
41.81-42.79	-2.01	-1.92	-1.77	-1.62	-1.23	-1.24	-1.15	-1.15	-1.08	-1.00	-0.98	-0.73	-0.55	-0.49
44.23-44.67	-2.43	-2.29	-2.13	-1.84	-1.20	-2.22	-2.08	-2.45	-1.99	-1.98	-1.73	-1.69	-1.32	-1.83

### III. Abhängigkeit der Körpertemperatur von der Lufttemperatur

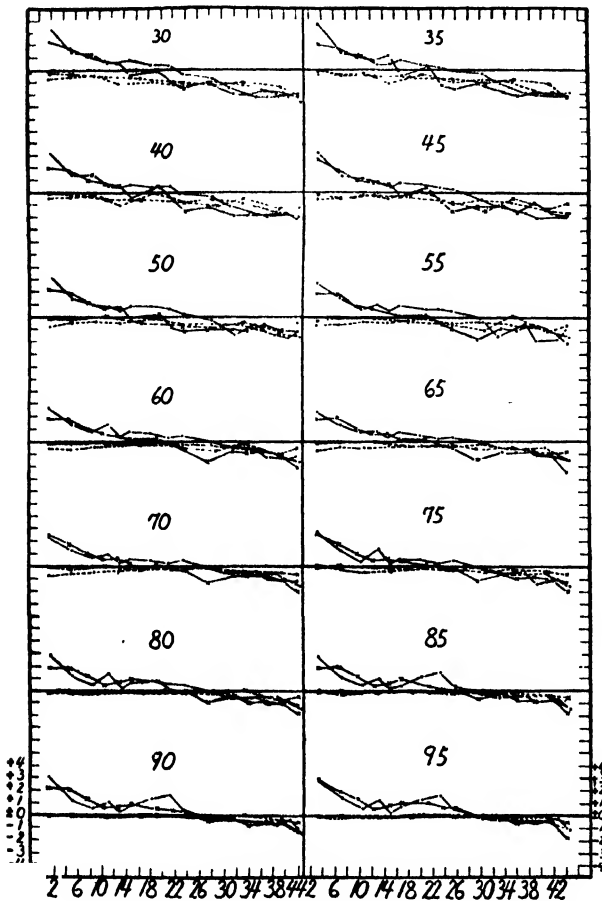


Abb. 1.

Einfluss der Lufttemperatur auf die Körpertemperatur der getöteten und lebenden *Anomala expansa* BATES und *Orthetrum sabina* DRURY bei konstanter Feuchtigkeit (30-95%). Ordinate: Differenz zwischen Körper- und Lufttemperatur in °C. Abszisse Lufttemperatur in °C. ●—● lebende *A. e.*, ●---● getötete *A. e.*; ×—× lebendes *O. s.*, ×---× getötetes *O. s.*

Um die Übersicht über die Beziehungen zwischen Insekten- und Lufttemperatur bei konstanter Luftfeuchtigkeit zu erleichtern, bringe ich alle in den vorstehenden Tabellen eingetragenen Zahlen ausserdem als Kurven in der nebenstehenden Abbildung.

Aus der Abbildung sind folgende Tatsachen ersichtlich.

1) Die untersuchten Insekten, sowohl die lebenden als auch die getöteten, besitzen im Ruhezustand eine Temperatur, die der Temperatur der umgebenden Luft sehr nahe kommt.

2) Die Übereinstimmung ist aber nicht vollkommen, sondern es bestehen je nach der Lufttemperatur immer Differenzen zwischen den beiderlei Temperaturen, d. h. bei einer gewissen Temperatur ist die

Körpertemperatur höher, bei einer anderen niedriger als diejenige der umgebenden Luft.

Die Temperaturdifferenzen zwischen dem Insektenkörper und der äusseren Luft will ich im folgenden eingehend besprechen.

Innerhalb der untersuchten Grenzen der Lufttemperatur ist die Körpertemperatur der getöteten Insekten immer niedriger als die der umgebenden Luft. In der vorstehenden Abbildung laufen daher alle unterbrochenen Kurven, die die Temperatur der getöteten Tiere angeben, immer unterhalb der Grundlinie, die die Lufttemperatur anzeigt, bei der die Körpertemperatur ermittelt wurde. Dieses Temperaturdefizit der getöteten Tiere gegen die Lufttemperatur ist bei allen Feuchtigkeiten bei hohen Temperaturen grösser als bei niederen.

Wenn ein unbelebter Körper verdunstbares Wasser enthält, dann wird er infolge der latenten Verdunstungswärme im Vergleich mit der umgebenden Luft untertemperiert. Die getöteten Tiere zeigen genau das gleiche Verhalten wie unbelebte Gegenstände. Dafür spricht auch die Tatsache, dass die Temperaturdifferenz sich mit der Feuchtigkeitszunahme verkleinert. Wie die Figur zeigt, ist bei niederen Feuchtigkeiten der Abstand der unterbrochenen Kurven von der Grundlinie immer gross, bei feuchter aber bedeutend kleiner.

Im Gegensatz zu den toten Tieren, verhält sich die Körpertemperatur der lebenden Tiere etwas anders. Die Temperatur dieser Tiere ist bald höher, bald niedriger als die Umgebungstemperatur je nach der Höhe der letzteren. Bei *Anomala expansa* ist die Körpertemperatur immer höher bei Temperaturen unter  $23.16-23.41^{\circ}\text{C}$ , niedriger dagegen bei Temperaturen über  $30.24-30.54^{\circ}\text{C}$ , und im Temperaturbereich zwischen diesen beiden Grenzwerten höher bei feuchter, aber niedriger bei trockener Luft. Bei *Orthetrum sabina* andererseits kommt bei Temperaturen über  $14.93-15.30^{\circ}\text{C}$  ein Überschuss der Körpertemperatur über die Lufttemperatur zustande, bei Temperaturen unter  $33.10-34.18^{\circ}$  ist das Verhältnis umgekehrt, während die Temperaturverhältnisse innerhalb dieser beiden Grenzwerte sich ähnlich gestalten wie bei *Anomala*.

Bei beiden Insektenarten sind Überschuss und Defizit der Körper-

temperatur am grössten bei der niedrigsten und bei der höchsten der untersuchten Lufttemperaturen, dazwischen nehmen beiderlei Werte ab. So zeigt es sich, dass die zuerst am höchsten Punkt ansetzende Kurve in Abb. 1, die die Körpertemperatur der lebenden Tiere wiedergibt, allmählich sinkt, sich mit der Grundlinie, die die Lufttemperatur repräsentiert, kreuzt und immer weiter heruntergeht, bis sie endlich den niedrigsten Punkt erreicht.

Diese Versuche zeigen, dass die allgemein vertretene Meinung, die Körpertemperatur der poikilothermen Tiere sei ein Spielball der äusseren physikalischen Verhältnisse, nicht ganz richtig ist. Ohne Zweifel hat diese unrichtige Annahme ihren Grund zum Teil in der Übersehung der Temperaturverhältnisse bei extremen Umgebungstemperaturen, wie über 30° oder unter 10° C.

Wie vorher in der VIII. Mitt. berichtet, hängt die Temperatur eines wechselwarmen Tieres, solange es der Einwirkung speziell strahlender Wärme entzogen ist, von dem Verhältnis ab, das zwischen der durch Stoffwechsel gebildeten sowie der in erster Linie durch Transpiration und in geringem Grade durch Leitung und Strahlung abgegebenen Wärmemenge besteht. Die Wärmeabgabe erniedrigt die Tiertemperatur, während der Stoffwechsel resp. die Wärmebildung sie erhöht. Ist der erste Faktor grösser als der zweite, dann ist die Temperatur des Tieres niedriger als die der umgebenden Luft; sonst wird das Umgekehrte eintreten. Und wenn die beiden Faktoren ihrer Wirkung nach einander gleich sind, sind Körpertemperatur und Umgebungstemperatur auch einander gleich.

Die Tatsache, dass bei mittleren Temperaturen (zwischen etwa 15-30° bei *Anomala* und etwa 12-23° bei *Orthetrum*) die Temperatur der beiden Insekten und die Lufttemperatur nicht wesentlich voneinander abweichen, zeigt ohne weiteres, dass innerhalb des Temperaturbereichs, in dessen Grenzen die Lebenstätigkeit der Insekten am lebhaftesten ist, die Wärmeproduktion und Wärmeabgabe mit gleicher Geschwindigkeit vor sich gehen.

Der bedeutende Temperaturüberschuss der Insekten über die Lufttemperatur bei niederen Temperaturen wie unterhalb etwa 15° bzw.

12° C beruht ohne Zweifel auf dem Überwiegen der Wärmeproduktion über die Wärmeabgabe, wobei höchstwahrscheinlich eine biologische Wärmeregulation in Betracht kommt, denn ein derartiger Temperaturüberschuss wird bei getöteten Tieren auf keinen Fall gefunden. Es fragt sich nun, worauf diese Wärmeretention beruht, auf einem speziellen Ansteigen der Wärmeproduktion, oder einem speziellen Herabsinken der Wärmeabgabe? NECHELES (1924) ist bei seinem Versuchsinsekt, *Periplaneta orientalis*, zu der Überzeugung gekommen, dass chemische Wärmeregulation, insbesondere Zunahme der Wärmebildung, dabei in Betracht kommt. Da ich weder die Wärmeproduktion noch die Wärmeabgabe meiner Insekten bei tiefen Temperaturen untersucht habe, kann ich die Ursache meiner Ergebnisse nicht mit Sicherheit feststellen. Die folgende Vermutung ist jedoch sehr wahrscheinlich.

Den Physiologen ist es gut bekannt, dass bei niedrigen Temperaturen (z. B. etwa unter 12–13° C) der Stoffwechsel der Kaltblüter nicht proportional der Temperaturerniedrigung verläuft, sondern relativ zunimmt. Daher ist die Stoffwechselkurve entweder eine Krough'sche Geradlinie, oder eine van't Hoff'sche oder Arrhenius'sche Exponentiallinie, die ungefähr geradlinig bei mittleren Temperaturen verläuft und sich durch Temperaturerniedrigung von etwa 12–13° C nach oben krümmt (s. KANTZ 1915, KESTNER und PLAUT 1924, CRONHEIM 1927, SCHULZ 1927 usw.). Es ist kaum nötig zu sagen, dass diese relative Zunahme des Stoffwechsels resp. Wärmeerzeugung zum Teil die relative Zunahme des Überschusses der Insektentemperatur über die Lufttemperatur bei niederen Temperaturen bewirkt. Leider kann ich die Frage, ob andererseits eine relative Abnahme der Wärmeabgabe bei niederen Temperaturen statthat, nicht beantworten, weil keine experimentellen Bestimmungen der Transpiration, durch die fast alle erzeugte Wärme der Kaltblüter nach aussen abgegeben wird, bei derartig niederen Temperaturen vorliegen. Obgleich ich vorher die Transpiration der Insekten ziemlich ausführlich untersucht habe (s. IV. u. V. Mitt.), konnte ich leider bei niederen Temperaturen, wie unter 10° C, keine Versuche darüber anstellen, wegen der Unzulänglichkeit des von mir benutzten Hygrothermostats.

Die relative Zunahme des Temperaturdefizits der beiden Insekten im Vergleich mit der Lufttemperatur bei höheren Temperaturen, wie über 30° oder 23° C, beruht wiederum auf einer relativen Zunahme des Überschusses an Wärmeabgabe über die Wärmeproduktion. Ist diese Erscheinung auf ein besonderes Ansteigen der Wärmeabgabe zurückzuführen, oder beruht sie auf einem besonderen Herabsinken der Wärmeproduktion? Wie zahlreiche bisher von verschiedenen Forschern gemachte Versuche zeigen, wächst der Stoffwechsel der Kaltblüter im allgemeinen bei hohen Temperaturen (zwischen etwa 20–30° C) nicht stärker mit der Erhöhung der Temperatur als bei tiefen (zwischen etwa 10–20° C), so dass der van't Hoff'sche und der Arrhenius'sche Temperaturquotient,  $Q_{10}$  bzw.  $\mu$ , fast immer kleiner sind bei hohen Temperaturen als bei tiefen. Steigt ferner die Temperatur weiter über 30° oder 35° C hinaus, dann nimmt die Stoffwechselintensität schliesslich plötzlich ab, die Kurve krümmt sich und geht mehr und mehr herunter. Es ist klar, dass dieses Herabsinken der Stoffwechselintensität, nämlich die Abnahme der Wärmeproduktion eine Ursache des beträchtlichen Temperaturdefizits der Insekten bei hohen Temperaturen ist.

Wie verhält es sich nun mit der Wasserdampfabgabe, die das wichtigste Mittel der Wärmeabgabe der Insekten darstellt, bei derartig hohen Temperaturen? In einer vorhergehenden Mitteilung (V.) berichtete ich über meine Versuche über die Temperaturabhängigkeit der Transpiration bei Puppen einer Lepidoptere, *Milionia zonea* MOORE. Die Resultate lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen. Bei konstanter Feuchtigkeit unter 80% rel. Feucht. nimmt die Transpiration dieses Insekts proportional zum simultanen Sättigungsdefizitzuwachs durch Erhöhung der Lufttemperatur zu, daher ist die entsprechende Kurve exponentiallinienartig, d. h. bei hohen Temperaturen steigt sie bei weitem steiler an als während des vorherigen Verlaufs bei tiefen Temperaturen. Es ist ohne Zweifel, dass eine derartig rapide Vermehrung der Wasserverdunstung die oben erwähnte Zunahme des Temperaturdefizits der Insekten bei hohen Lufttemperaturen herbeiführt. Dagegen bei feuchter Luft, wie über 80% rel. Feucht., entspricht der die Temperaturer-

höhung begleitende Transpirationsanstieg nicht der bisherigen Vermehrung bei tieferen Temperaturen, sondern bildet eine langgestreckte, nur wenig nach oben konvexe Kurve. Diese relative Abnahme an Wasserverdunstung entsteht ohne weiteres dadurch, dass die Temperaturdifferenz zwischen Insekt und Umgebungsluft bei warmer feuchter Luft nicht so gross ist im Vergleich mit der bei trockener Luft festgestellten.

Die starke Vergrösserung der Temperaturdifferenz bei hohen Temperaturen tritt aber auch bei den toten Insekten zutage, ähnlich wie bei den lebenden, daher könnte man annehmen, dass diese Temperaturerniedrigung der lebenden Insekten nicht ein Ausdruck der für die lebenden Organismen charakteristischen Wärmeregulation ist. Diese Annahme ist aber nicht ganz richtig. Da bei den lebenden Insekten Wärmebildung stattfindet, wenn auch nur in geringem Grade bei derartig hohen Temperaturen, müsste ihre Körpertemperatur höher sein als die der getöteten, bei denen keine Wärmeerzeugung vorkommt. In der Tat sind aber beide Temperaturen einander gleich. Diese Erscheinung macht die Wirkung einer biologischen Wärmeregulation, die eine Temperaturerhöhung verhindert, wahrscheinlich. Diese Wärmeregulation kann man nicht anders auffassen als eine aktive Vermehrung der Wasserdampfabgabe bei den lebenden Insekten. Wie ich vorher in der V. Mitt. erwähnt habe, wird eine stärkere Vergrösserung der Wasserdampfabgabe als die des Sättigungsdefizits bei lebenden Insekten durch weites Öffnen der Stigmen oder durch beschleunigte Atmung herbeigeführt, wenn die Temperatur der Luft sich über etwa 30°C erhöht. Ich glaube dass das Gleiche auch für die hier untersuchten Insekten gilt, obgleich bei diesen die Transpiration nicht verfolgt wurde.

Auf diese Weise ist aus allen diesen Untersuchungen zu entnehmen: Die Körpertemperatur der untersuchten Insekten ist der Umgebungstemperatur nur innerhalb verhältnismässig enger Grenzen gleich. Zwischen 15° und 30° (bei *Anomala*) bzw. zwischen 12° und 23° (bei *Orthetrum*) stimmen Körper- und Lufttemperatur im grossen und ganzen überein. Oberhalb der betreffenden oberen Grenzwerte ist aber



die Körpertemperatur stets tiefer als die Lufttemperatur, und zwar nimmt die Differenz so lange zu, bis eine vitale Schädigung eintritt. Und andererseits unter 12° bzw. 15° C ist die Körpertemperatur höher als die Lufttemperatur, solange diese niedrig bleibt, wobei auch hier die Differenz immer grösser wird.

Diese Verhältnisse stimmen durchaus mit den Befunden überein, die bisher von verschiedenen Autoren bei anderen Kaltblütern erhalten worden sind (siehe Ergebnisse betreffs der kaltblütigen Wirbeltiere in der Zusammenstellung von SOETBEER und betreffs der Insekten bei BACHMETJEW, NECHELES und PIRSCH).

Aus diesen Ergebnissen könnte man vermuten, dass der Temperaturbereich, innerhalb dessen ein Insekt ungefähr die Temperatur seiner Umgebung besitzt, anscheinend dem Bereich entspricht, in dem sich das normale Leben des betreffenden Tieres abspielt. Ist diese Annahme richtig, so entspricht bei unseren Insekten das Temperaturintervall von etwa 15-30° bzw. 12-23° ihren normalen Lebensbedingungen. Es ist aber ferner zu bemerken, dass dieser Spielraum durch ein besonderes Temperaturregulierungsvermögen der Insekten nach beiden Seiten hin erheblich erweitert werden kann.

#### **IV. Abhängigkeit der Körpertemperatur von der Luftfeuchtigkeit**

Wie bereits in der Einleitung bemerkt, liegt die Ursache der Nichtübereinstimmung der Temperaturmessungen bei Kaltblütern von verschiedenen bisherigen Autoren zum Teil in der Verschiedenheit der Messmethoden. In der Hauptsache ist aber die hochgradige Beeinflussbarkeit der Eigentemperatur dieser Tiere durch verschiedene äussere wie innere Faktoren daran schuld.

Die Luftfeuchtigkeit ist einer der äusseren Faktoren. Leider sind die Temperaturmessungen früher ohne Rücksicht auf diesen Faktor gemacht worden, daher sind ihre Resultate sehr verschieden.

Wie aus den Untersuchungen von KREHL und SOETBEER (1899), RUBNER (1924), BENEDICT (1932), sowie auch von mir (VIII. u. X.

Mitt.) hervorgeht, erfolgt die Wärmeabgabe der Kaltblüter in erster Linie durch Wasserdampfausscheidung. Und zwar erleidet diese Wasserdampfabgabe starke Änderungen durch die Luftfeuchtigkeit. Es ist daher in hohem Grade wahrscheinlich, dass diese einen bedeutenden Einfluss auf die Körpertemperatur der Kaltblüter ausübt.

In der Literatur liegen aber bezüglich dieses Feuchtigkeitseinflusses fast keine genauen Untersuchungen vor. Wir finden nur eine einigermaßen ausführliche Untersuchung von HALL und ROOT (1930), die die Körpertemperatur von verschiedenen Amphibien- und Reptilienarten bei relativen Feuchtigkeiten von 7, 25, 50, 75 und 95–100% bei einer konstanten Temperatur von 20° C untersucht haben. Trotzdem über dieses Problem ausserdem Untersuchungen von DUTROCHET (1840), SOETBEER (1898), BACHMETJEW (1901), ISSERLIN (1902), NECHELES (1924) und BENEDICT (1932) etc. vorliegen, sind alle diese Studien leider qualitativer Natur und sprechen nur von trockener oder feuchter Luft im allgemeinen. Nach diesen Autoren ist die Körpertemperatur der Kaltblüter bei feuchter Luft höher als die Lufttemperatur, während sie bei trockener Luft niedriger ist, woraus folgt, dass die Körpertemperatur bei feuchter Luft höher ist als bei trockener. Da aber die bisherigen Beobachtungen sich fast ausschliesslich auf den Einfluss bei gewöhnlichen Temperaturen beziehen, wie ungefähr 20° C, ist die Feuchtigkeitsabhängigkeit der Körpertemperatur bei anderen Temperaturen ganz unklar.

In Tabelle 1–4 habe ich bereits die Ergebnisse meiner Temperaturfeststellungen angeführt bei Temperaturen zwischen etwa 2–45° C unter konstant gehaltenen Feuchtigkeiten in Abständen von 5% zwischen 30 und 95%. Um die Übersicht des Temperaturverhaltens gegen die Luftfeuchtigkeiten zu erleichtern, bringe ich diese Ergebnisse nochmals in nachstehenden Abbildungen (Abb. 2 u. 3).

Ergebnisse bei getöteten Tieren. Aus beiden Figuren geht übereinstimmend hervor, dass die Temperatur der getöteten Insekten bei allen untersuchten Feuchtigkeiten immer niedriger ist als die der umgebenden Luft, wobei die Differenz immer grösser bzw. kleiner wird bei ab- bzw. zunehmender Feuchtigkeit. Die Körpertemperatur-

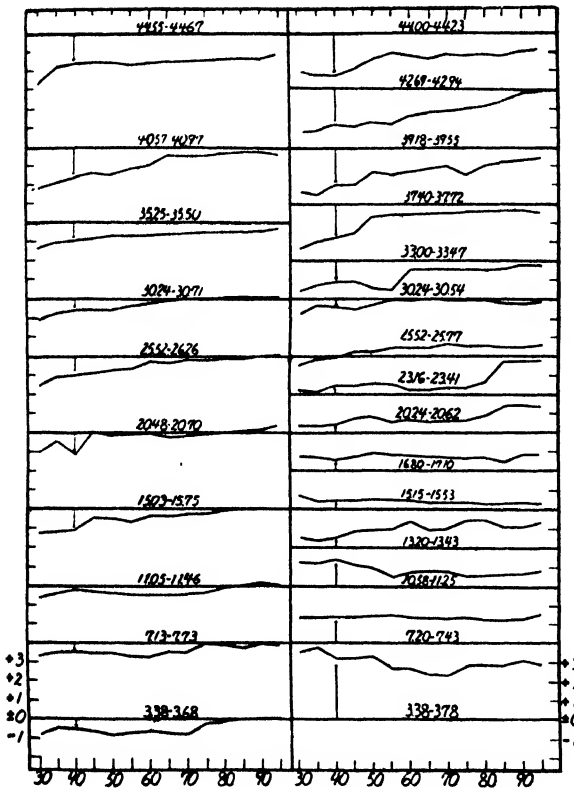


Abb. 2.

Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Körpertemperatur der getöteten (links) und lebenden (rechts) *Anomala expansa* BATES bei konstanter Lufttemperatur. Ordinate: Temperaturdifferenz zwischen Körper und Luft in °C, Abszisse: Feuchtigkeit in % (vgl. Tabelle 1 und 3).

kurve, die am niedrigsten Punkte ansetzt, steigt allmählich an, bis sie und die Grundlinie, die die konstant gehaltene Lufttemperatur wiedergibt, bei 80–95 % rel. Feucht. fast übereinander zu liegen kommen. Diese Temperaturkurve ist ziemlich geradlinig, was der Tatsache entspricht, dass, wie schon in der IV. und V. Mitt. berichtet, die Wasserverdampfung der Insekten sich mit der Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit auch geradlinig vermindert. Aus diesem Grund kann man sagen, dass die Dif-

ferenz zwischen der Temperatur der getöteten Tiere und der Lufttemperatur der Wasserverdunstung proportional anwächst.

Da bei einem leblosen Körper keine Wärme gebildet wird, hängt seine Körpertemperatur völlig von der Grösse der Wärmeabgabe ab. Und zwar kommt hierbei eine Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung nicht in Betracht, weil seine Temperatur niedriger ist als die der Umgebung. Angesichts dessen ist es ohne weiteres verständlich, dass die Wasserdampfabgabe der alleinige Faktor ist, der die Temperaturverhältnisse des toten Tieres bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten bedingt.

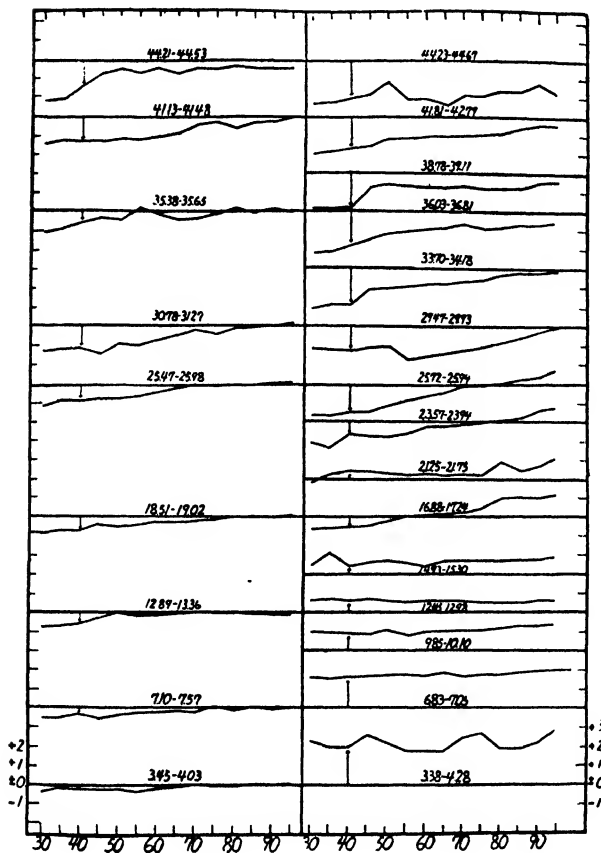


Abb. 3.

Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Körpertemperatur des getöteten (links) und lebenden (rechts) *Orthetrum sabina* DRURY bei konstanter Lufttemperatur. Erklärung wie bei Abb. 2.

Ergebnisse bei lebenden Tieren.

Die Temperaturen der lebenden Insekten sind bedeutend höher als die Lufttemperaturen, wenn diese unterhalb eines spezifischen je nach der Insektenart verschiedenen unteren Grenzwertes liegen. Übersteigen aber die Lufttemperaturen den spezifischen oberen Grenzwert, dann ist die Temperatur der lebenden Tiere stets niedriger. Zwischen diesen beiden Grenzwerten ist die Beziehung eine andere, die Körpertemperatur ist nämlich höher bzw. niedriger als die der Umgebung bei feuchter bzw. trockener Luft.

Bei *Anomala expansa* ist die Körpertemperatur immer höher als die Lufttemperatur bei niederen Temperaturen unter  $23.16-23.41^{\circ}\text{C}$ . Bei Temperaturen unterhalb etwa  $16.80-17.10^{\circ}$  zeigt sich keine nennenswerte Abhängigkeit der Temperatur von der Luftfeuchtigkeit, aber zwischen  $20.24-20.62^{\circ}$  und  $23.16-23.41^{\circ}$  ist die Temperatur bei feuchter Luft deutlich höher als bei trockener. Bei  $25.52-25.77^{\circ}$  ist die Körpertemperatur niedriger bzw. höher als die der Umgebung bei trockener bzw. feuchter Luft. Bei Temperaturen von  $30.24-30.54^{\circ}$  an

nach oben hin besitzen die Tiere immer eine niedrigere Temperatur als die Luft, aber diese Differenz wird stets kleiner mit der Zunahme der Feuchtigkeit.

Bei *Orthetrum sabina* kommt der Feuchtigkeitseinfluss nicht in Betracht bei Temperaturen unter 14.93–15.30° C, aber darüber hinaus nach oben hin wird die Tiertemperatur von der Luftfeuchtigkeit stark beeinflusst und ist stets niedriger bei trockener Luft als bei feuchter. Bei diesem Insekt liegt der Temperaturbereich, innerhalb dessen seine Körpertemperatur höher bzw. niedriger als die der Umgebung bei feuchter bzw. trockener Luft ist, zwischen 16.88–17.24° und 29.47–29.93°.

Beim Ausschluss besonderer Wärmeaufnahme hängt die Temperatur der lebenden Organismen im wesentlichen von zwei Faktoren ab, nämlich Wärmeproduktion und Wärmeabgabe.

Die Frage, ob die Variation der Luftfeuchtigkeit die Wärmeproduktion der poikilothermen Tiere verändert, ist bisher von Physiologen noch nicht genügend beachtet worden. Nach manchen Autoren, wie z. B. SHELFORD (1913), CALDWELL (1925), oder FUDII (1930) führt die Trockenheit der Luft bei den Insekten anfangs ein etwas starkes Ansteigen des Stoffwechsels herbei, der aber zum Schluss eine starke andauernde Verlangsamung aufweist. Auch bei *Gastrimargus* (VIII. Mitt.) war der Gaswechsel etwas intensiver bei feuchter Luft als bei trockener. Aber quantitativ betrachtet, ist die Feuchtigkeitwirkung auf die Wärmeproduktion nur so gering, dass sie in den meisten Fällen unberücksichtigt bleiben kann. Daher fällt den sich hieraus ergebenden Schwankungen in der Wärmebildung keine nennenswerte Rolle zu.

Wir wollen uns nun den Schwankungen in der Wärmeabgabe zuwenden. Die Wärmeabgabe der lebenden Insekten erfolgt in erster Linie durch Wasserdampfabgabe und in bedeutend geringerem Grade durch Leitung und Strahlung. Es ist kaum nötig zu sagen, dass die Temperaturenniedrigung bei trockener Luft bei den lebenden ebenso wie bei den getöteten Insekten hauptsächlich auf der starken Abkühlung des Körpers infolge der vermehrten Wasserverdunstung beruht. Die Wärmeleitung (Strahlung hängt nicht von dem Wassergehalt der Luft ab) muss mit der Zunahme der Luftfeuchtigkeit zunehmen, was mit

unserem Ergebnis in Widerspruch steht. Aber die Wärmeleitung ist bei unseren Insekten nur unbedeutend und dürfte kaum ins Gewicht fallen.

Die Tatsache, dass die Luftfeuchtigkeit fast keinen oder einen nur sehr geringen Einfluss auf die Körpertemperatur bei niederen Temperaturen hat, kann folgendermassen erklärt werden. Wie vorher in der V. Mitt. eingehend erörtert, wächst der Quotient  $a$  in meiner Transpirationsgleichung

$$V = 100 a (E - e) + c$$

proportional mit dem Temperaturanstieg. Da der Wert  $a$  den Index aller relativen bei gleichem Sättigungsdefizit erzeugten Transpirationswerte darstellt, zeigt dieses Verhältnis nichts anderes, als dass die relative Zunahme der durch gesteigerte Lufttrockenheit herbeigeführten Wasserverdunstung bei niedrigen Temperaturen nicht so gross ist wie bei höheren; d. h. bei niederen Temperaturen können die Schwankungen in der Luftfeuchtigkeit die Wasserverdunstung dieser Insekten nur in geringem Grade verändern. Dank der vermehrten Verdunstungsabkühlung, wenn sie auch nicht sehr bedeutend ist, müsste die Körpertemperatur bei feuchter Luft etwas höher sein als bei trockener, aber da andererseits die Wärmeabgabe durch Leitung sich mit der Feuchtigkeit vergrössert, sind die beiden Modi der Wärmeabgabe in entgegengesetzter Richtung wirksam, und die Körpertemperatur erscheint unbeeinflusst von den Schwankungen der Luftfeuchtigkeit.

#### D. KÖRPERWÄRME UND EIGENTEMPERATUR

Auf Grund der gewonnenen Versuchsergebnisse können wir sagen, dass die Körpertemperatur der Insekten in hohem Grade variabel und von äusseren Bedingungen abhängig ist. Nehmen wir die Definition der "Körperwärme" und der "Eigentemperatur" von SOETBEER (1898) an, der im Gegensatz zur "Körperwärme," die jeder unbelebte Gegenstand besitzt, unter "Eigentemperatur" eine durch organische Regulationsvorrichtungen innerhalb gewisser konstanter Grenzen erzeugte und festgehaltene Körperwärme versteht, so ist

es unrichtig, die Körpertemperatur der Insekten als Eigentemperatur aufzufassen. Aber im Grunde geht auch den Insekten die Fähigkeit, ihre Temperatur zu regulieren, nicht völlig ab, mit anderen Worten, ihre Körperwärme ist nicht immer abhängig von den äusseren physikalischen Verhältnissen, da sie bei extrem hohen und extrem tiefen Temperaturen im allgemeinen ihre Körpertemperatur innerhalb eines verhältnismässig engen Bereichs festhalten können. Durch die besonderen wärmeregulierenden Vorrichtungen wird für das Leben dieser Tiere betreffs z. B. ihrer geographischen Verbreitung oder des zeitlichen Auftretens eine gewisse biologische Breite gewährleistet.

## E. ZUSAMMENFASSUNG

Die Körpertemperatur wurde bei einem Käfer, *Anomala expansa* BATES, und einer Libelle, *Orthetrum sabina* DRURY, unter verschiedenen Lufttemperaturen und Feuchtigkeiten bei Ausschluss besonderer Wärmestrahlung verfolgt.

Die Bauchhöhlentemperatur des Käfers und die Thoraxtemperatur der Libelle verhielten sich fast gleich gegen Temperatur und Feuchtigkeit der umgebenden Luft, und die wesentlichen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Wie alle wechselwarmen Tiere, besitzen die untersuchten Insekten innerhalb eines verhältnismässig kleinen Spielraums ungefähr die Temperatur ihrer Umgebung (zwischen etwa 15-30° bei *Anomala* und 12-23° C bei *Orthetrum*).

Darüber hinaus aber, nach den unteren bzw. oberen Graden hin, haben sie immer eine höhere bzw. niedrigere Körpertemperatur als die umgebende Luft. Die Differenzen zwischen Körper- und Lufttemperatur wachsen mit den Differenzen zwischen der letzteren und den Grenzwerten der oben genannten Temperaturbereiche.

Aus den Ergebnissen der Parallelversuche mit getöteten Individuen geht ohne Zweifel hervor, dass hierbei eine organische Wärmeregulation eine Rolle spielt.

Die Körpertemperatur der Insekten wird auch von der Luftfeuch-

tigkeit stark beeinflusst. Sie ist immer, tiefe Temperaturen ausgenommen, höher bei feuchter Luft als bei trockener. Diese Erscheinung beruht in erster Linie auf Veränderungen der Wasserdampfabgabe der Insekten. Bei niedrigen Temperaturen beeinflussen die Schwankungen der Luftfeuchtigkeit nur in geringem Grade die Temperatur der Insekten. Die Ursache hierzu ist hauptsächlich in der geringfügigen Beeinflussung ihrer Wasserdampfabgabe durch die Feuchtigkeit zu suchen.

Auf jeden Fall ist die Körpertemperatur der Insekten keineswegs in so starkem Grade von den äusseren physikalischen Verhältnissen abhängig wie die der unbelebten Gegenstände, da sie bei extrem hohen und extrem tiefen Umgebungstemperaturen ein Regulierungsvermögen besitzen, durch welches sie die Körpertemperatur innerhalb eines verhältnismässig engen Bereichs festhalten können. Durch die besonderen wärmeregulierenden Einrichtungen, wird diesen Tieren eine grössere biologische Breite, z. B. betreffs der geographischen Verbreitung oder des zeitlichen Auftretens gewährleistet, wenn auch ihre Fähigkeit, die Körpertemperatur zu regulieren, bei weitem nicht so ausgeprägt ist wie bei den Warmblütern.

## F. LITERATUR

- BACHMETJEW, P.: Experimentelle entomologische Studien. I. Temperaturverhältnisse bei Insekten. Leipzig (1901).
- BENEDICT, F. G.: The physiology of large reptiles. Publ. Carnegie Inst. Washington (1932).
- CALDWELL, G. T.: A reconnaissance of the relation between desiccation and carbon dioxide production in animals. Biol. Bull. XLVIII, 259-273 (1925).
- CRONHEIM, W.: Gesamtstoffwechsel der Tiere (Kaltblütige Wirbeltiere). Oppenheimer's Handb. Biochem. VII, 291-340 (1927).
- DUTROCHET: Recherches sur la chaleur propre de êtres vivans à basse température. Chapitre II. Recherches sur la chaleur propre des animaux à basse température. Ann. des sci. nat. Zool. (II) XIII (1840) zit. n. Bachmetjew.
- HALL, F. G. und ROOT, R. W.: The influence of humidity on the body temperature of certain poikilotherms. Biol. Bull. LVIII. 52-58 (1930).
- ISSERLIN, M.: Ueber Temperatur und Wärmeproduktion poikilothermer Tiere. Pflügers Arch. XC, 472-490 (1902).
- KANITZ, A.: Temperatur und Lebensvorgänge. Berlin (1915).
- KESTNER, O. und PLAUT, R.: Physiologie des Stoffwechsels. Winterstein's Handb. vergl. Physiol. II (2) (1924).



- KOIDSUMI, K.: Allgemeine Nachweise und quantitative Bestimmungen der tierischen Transpiration (Experimentelle Studien über die Transpiration und den Wärmehaushalt bei Insekten. I.). Mem. Fac. Sci. Agri. Taihoku Imp. Univ. XII (1), 1-19 (1934).
- : Transpirationsgrösse an verschiedenen Stellen des Insektenkörpers ( „ II.). Ebenda, XII (1), 21-40 (1934).
- : Ueber die physiologischen Komponenten der tierischen Transpiration bei Insekten ( „ III.). Ebenda, XII (1), 41-79 (1934).
- : Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Insektentranspiration ( „ IV.). Ebenda, XII (1), 81-107 (1934).
- : Einfluss der Lufttemperatur auf die Insektentranspiration ( „ V.). Ebenda, XII (1), 109-124 (1934).
- : Einfluss der Luftbewegung und des Lichtes auf die Insektentranspiration ( „ VI.). Ebenda, XII (1), 125-136 (1934).
- : Ueber den zeitlichen Verlauf der Transpiration verschiedener Insekten bei verschiedener Luftfeuchtigkeit ( „ VII.). Ebenda, XII (1), 137-179 (1934).
- : Beziehungen der Bilanz des Wärmehaushaltes zur Temperatur des Insektenkörpers bei konstanter Lufttemperatur ( „ VIII.). Ebenda, XII, (3), 281-315 (1935).
- : Ueber den Mechanismus des Temperaturwechsels bei Insekten ( „ IX.) Ebenda, XII, (3), 317-337 (1935).
- : Ueber die Wege der Wärmeabgabe bei Insekten ( „ X) Ebenda, XII, (3), 339-349 (1935).
- KREHL, L. und SOETBEER, F.: Untersuchungen über die Wärmeökonomie der poikilothermen Tiere. Pflüger's Arch. LXXVII, 611-638 (1899).
- NECHELES, H.: Ueber Wärmeregulation bei wechselwarmen Tieren. Ebenda, CCIV, 72-86 (1924).
- PEARSE, A. S. und HALL, F. G.: Homiothermism. New York (1928).
- PIRSCH, G. B.: Studies on the temperature of individual insects, with special reference to the honey bee, Jour. agri. Res. XXIV, 275-287 (1919).
- ROGERS, C. G. und LEWIS, E. M.: The relation of the body temperature of certain cold-blooded animals to that of their environment. Biol. Bull. XXVII, 1-5 (1914).
- und ———: The relation of the body temperature of the earthworm to that of its environment. Ebenda, XXVII, 262-268 (1914).
- RUBNER, M.: Aus dem Leben des Kaltblüters. II. Amphibien und Reptilien. Biochem. Z. CXLVIII, 268-307 (1924).
- SCHULZ, N.: Gesamtstoffwechsel der wirbellosen Tiere. Oppenheimer's Handb. Biochem. VII, 341-488 (1927).
- SHELFORD, V. E.: The reactions of certain animals to gradients of evaporating power of air. Biol. Bull. XXV, 19-120 (1913).
- SOETBEER, F.: Ueber die Körperwärme der poikilothermen Wirbeltiere. Arch. Exp. Path. u. Pharmak. XL, 53-80 (1898).
- TIEGERSTEDT, R.: Die Produktion von Wärme und der Wärmehaushalt. Winterstein's Handb. vergl. Physiol. III (2) (1910-14).

## XII. MITTEILUNG

### Einfluss der Luftbewegung auf die Körpertemperatur der Insekten

(Mit 3 Textabbildungen)

Kiyoaki KOIDSUMI

(Accepted for publication, September 27, 1934)

#### Inhaltsübersicht

	SEITE
A. Einleitung ... ..	373
B. Material und Methoden ... ..	374
C. Ergebnisse der Untersuchungen ... ..	375
I. Versuche mit getöteten Tieren ... ..	375
II. Versuche mit lebenden Tieren ... ..	376
D. Zusammenfassung ... ..	380
E. Literatur... ..	380

#### A. EINLEITUNG

Wie in der VI. Mitt. dieser Studien erwähnt, ist die Bewegung der einen Organismus umgebenden Luft ein ebenso wichtiger Faktor bei der Wasserdampfausscheidung, durch die die kaltblütigen Tiere in erster Linie die in ihrem Körper erzeugte Wärme nach aussen abgeben, wie Temperatur und Feuchtigkeit. Demnach muss die Körpertemperatur der Kaltblüter von der Bewegung der Luft beeinflusst werden.

Soviel ich weiss, ist diese Frage bisher kaum untersucht worden, wenn wir von der Untersuchung von BENEDICT (1932) bei Reptilien absehen. Um diese Lücke auszufüllen, habe ich einige Versuche ausgeführt, über die in vorliegender Mitteilung berichtet wird.

## B. MATERIAL UND METHODEN

Sowohl die Versuchstiere als auch die Methoden der Körpertemperaturmessung waren die gleichen wie die in der vorhergehenden Mitteilung benutzten.

Um die zu untersuchende Luft in Bewegung zu versetzen, habe ich zwei Methoden angewendet. Die eine besteht darin, dass das Durchsaugen des Luftstromes durch den Glasbehälter, in dem sich das Versuchstier befindet, mit einer Luftpumpe (20) bewerkstelligt wird (vgl. Textabb. 3, VIII. Mitt.). Die Ventilationsgeschwindigkeit wird mittels eines Regulierungsapparates (19) reguliert und mittels eines Spirometers (18) festgestellt. Luftpumpe, Ventilationsregulierungsapparat und Spirometer sind in Textabb. 1 der gleichen Mitteilung schematisch dargestellt. Die zweite Methode besteht darin, dass ein Luftstrom durch ein Elektrogebläse auf das zu untersuchende Insekt, das auf einer Korkplatte mit dem Rücken festgehalten wird, gerichtet wird. Die Geschwindigkeit der Rotation dieses Gebläses wird dadurch variiert, dass die Intensität des das Gebläse in Bewegung versetzenden elektrischen Stroms verändert wird.

In jedem Falle wurden die Insekten zuerst 30 Minuten in der neuen zu untersuchenden bewegten Luft gehalten, worauf die Temperatur ermittelt wurde.

Auch bei dieser Untersuchung wurden Parallelversuche mit getöteten Insekten ausgeführt.

Die Zahl der Versuchstiere betrug für jede Luftstromgeschwindigkeit 5, mitgeteilt werden nur die Mittelwerte.

## C. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

## I. Versuche mit getöteten Tieren

Die Versuche mit getöteten Insekten wurden nur bei *Anomala expansa* BATES mittels der ersten Methode ausgeführt. Das Resultat der Messungen ist in Tabelle 1 und in Abbildung 1 gegeben.

TABELLE 1.

Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Körpertemperatur der getöteten *Anomala expansa* BATES.

Temp. °C	Feucht. %	Luftgeschwindigkeit pro Min. ccm							
		800	1470	2100	2700	3150	3500	3900	4350
4.65	45	-0.15	-0.08	-0.17	-0.25	-0.30	-0.37	-0.47	-0.65
	65	-0.15	-0.16	-0.23	-0.22	-0.38	-0.60	-0.75	-0.70
	85	+0.08	+0.08	-0.11	+0.14	-0.23	-0.37	-0.45	-0.37
12.53	45	-0.30	-0.32	-0.53	-0.75	-0.67	-0.58	-0.75	-0.75
	65	-0.22	-0.08	-0.23	-0.30	-0.30	-0.47	-0.57	-0.58
	85	-0.08	-0.15	-0.22	-0.24	-0.38	-0.38	-0.53	-0.48
22.30	45	-0.61	-0.53	-0.73	-0.79	-0.73	-0.75	-1.03	-1.23
	65	-0.48	-0.44	-0.59	-0.30	-0.54	-0.68	-0.97	-1.13
	85	+0.07	+0.08	+0.14	-0.07	-0.09	-0.07	-0.12	-0.48
30.16	45	-0.54	-0.51	-0.43	-0.65	-0.67	-0.67	-0.73	-0.77
	65	±0.00	-0.31	-0.09	-0.16	-0.25	-0.35	-0.39	-0.49
	85	±0.00	-0.02	-0.05	-0.08	-0.10	±0.00	-0.13	-0.36

Innerhalb der untersuchten Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitsbereiche war bei allen Luftgeschwindigkeiten die Körpertemperatur der getöteten Käfer immer niedriger als die Lufttemperatur. Es bestand also eine deutliche Neigung zur Herabsetzung der Körpertemperatur bei der getöteten *Anomala* durch die Luftbewegung, d. h. ihre Temperatur war niedriger je grösser die Luftgeschwindigkeit. Es ist ferner zu bemerken, dass diese Tendenz etwas ausgeprägter war bei trockener Luft als bei feuchter.

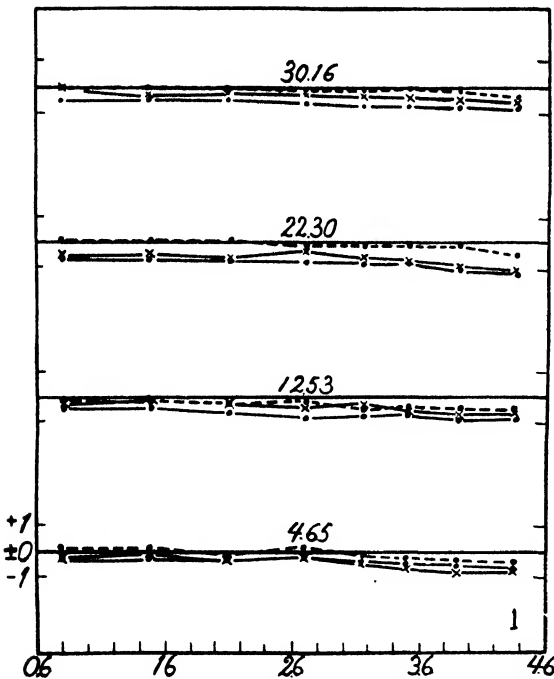


Abb. 1.

Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Körpertemperatur der getöteten *Anomala expansa* BATES. Ordinate: Differenz zwischen Körper- und Lufttemperatur in °C; Abszisse: Windgeschwindigkeit in Litern. ●—● zeigt Temperaturdifferenz bei 40 % rel. Feucht., ×—× die bei 60% und ●---● die bei 80 %.

Da bei getöteten Tieren keine Wärmebildung stattfindet, hängt ihre Körpertemperatur völlig von dem Wärmeverlust ab.

Es ist kaum nötig zu sagen, dass die Schwankungen der von den Leichen verdunsteten Wassermenge fast ausschliesslich derartigen Temperaturverhältnissen zugrunde liegen, weil, wie bereits REINHARD (1869), SCHIERBECK (1895), WOLPERT (1895) und ich (s. VI. Mitt.) bemerkten, die Wasserverdunstung durch die Zunahme der Luftgeschwindigkeit beschleunigt wird.

Die auf diese Weise vermehrte Verdampfung entzieht den Leichen eine ebenfalls vermehrte Wärmemenge.

Obgleich die Wärmeabgabe durch Leitung, ebenfalls wie die Transpiration, durch die Luftbewegung gefördert wird, kommt diese in diesem Falle nicht in Betracht, denn die Wärmeleitung fehlt hier vollständig.

## II. Versuche mit lebenden Tieren

Die Körpertemperaturen der lebenden Insekten, die bei verschiedenen Luftströmungsgeschwindigkeiten ermittelt wurden, sind in Tabellen 2 und 3 zusammengestellt und in Abbildungen 2 und 3 graphisch wiedergegeben.

TABELLE 2.

Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Körpertemperatur der lebenden  
*Anomala expansa* BATES.

Temp. °C	Feucht. %	Luftgeschwindigkeit pro Min. ccm.							
		800	1470	2100	2700	3150	3500	3900	4350
4.28	45	+2.77	+2.85	+2.78	+2.70	+2.72	+2.55	+2.33	+2.17
	65	+2.93	+3.00	+2.70	+2.55	+2.47	+2.40	+2.17	+1.95
	85	+2.78	+2.70	+2.70	+2.85	+2.55	+2.47	+2.10	+1.80
12.45	45	+0.38	+0.45	+0.45	+0.53	+0.65	+0.62	+0.60	+0.42
	65	+0.82	+0.83	+0.75	+0.60	+0.62	+0.45	+0.45	+0.36
	85	+0.75	+1.05	+1.06	+0.97	+0.83	+0.75	+0.60	+0.37
22.30	45	-0.24	-0.09	-0.13	-0.32	-0.43	-0.65	-1.05	-0.93
	65	±0.00	-0.01	+0.14	+0.15	+0.14	-0.29	-0.36	-0.37
	85	+0.30	+0.32	+0.33	+0.32	+0.34	+0.33	+0.08	+0.02
30.54	45	-0.15	-0.07	-0.08	-0.15	-0.15	-0.24	-0.61	-0.97
	65	-0.18	-0.24	-0.08	-0.08	-0.05	-0.06	-0.05	-0.25
	85	+0.07	±0.00	+0.08	+0.30	+0.24	+0.24	+0.18	+0.24

TABELLE 3.

Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Körpertemperatur des lebenden  
*Orthetrum sabina* DRURY.

Temp. °C	Feucht. %	Luftgeschwindigkeit pro Min. ccm.							
		800	1470	2100	2700	3150	3500	3900	4350
3.38	45	+2.50	+2.87	+2.77	+2.70	+2.40	+2.33	+2.25	+2.40
	65	+2.90	+3.07	+3.00	+2.47	+2.43	+2.32	+2.33	+2.25
	85	+1.45	+1.35	+1.50	+1.42	+1.44	+1.43	+1.42	+1.65
12.23	45	+0.45	+0.37	+0.37	+0.58	+0.45	+0.32	+0.38	+0.34
	65	+0.90	+0.75	+1.05	+0.98	+0.90	+0.98	+0.88	+0.84
	85	+0.90	+0.98	+0.97	+1.05	+0.98	+0.98	+0.98	+0.99

(Fortsetzung)

Temp. °C	Feucht. %	Luftgeschwindigkeit pro Min. ccm.							
		800	1470	2100	2700	3150	3500	3900	4350
22.46	45	-0.23	-0.23	-0.35	-0.25	-0.36	-0.35	-0.39	-0.77
	65	-0.24	-0.29	-0.25	-0.09	-0.18	-0.18	-0.14	-0.48
	85	+0.07	+0.16	+0.24	+0.32	+0.39	+0.42	+0.44	+0.30
30.54	45	-0.30	-0.46	-0.55	-0.75	-0.77	-0.75	-0.77	-0.79
	65	-0.24	-0.31	-0.60	-0.48	-0.37	-0.47	-0.62	-0.55
	85	-0.15	-0.08	-0.37	-0.16	-0.15	-0.23	-0.68	-0.82

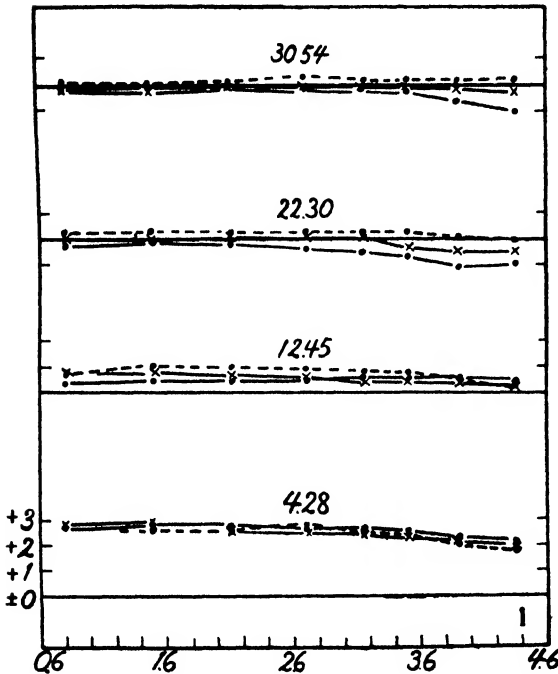


Abb. 2.

Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Körpertemperatur der lebenden *Anomala expansa* BATES. Erklärung wie bei Abbildung 1.

Bei niedriger Lufttemperatur liegt die Temperatur beider Insekten immer bedeutend höher als die Lufttemperatur, ungeachtet der Luftgeschwindigkeit, bei hoher dagegen ist die Temperatur fast die gleiche wie die Lufttemperatur oder etwas niedriger. Die Beziehung zur Luftgeschwindigkeit ist dieselbe wie bei den getöteten Tieren, d.h. je größer die Luftgeschwindigkeit, desto niedriger die Temperatur der Insekten. Trotzdem die Temperatur der

lebenden Tiere im wesentlichen von der Wärmeproduktion und Wärmeabgabe abhängt, ist die letztere in diesem Falle der Hauptfaktor, der die Körpertemperatur bedingt, denn die Wärmeproduktion wird durch

TABELLE 4.

Einfluss des Elektrogebläsewindes auf die Körpertemperatur von  
*Anomala expansa* BATES und *Orthetrum sabina* DRURY.

Windgeschw. p. Min. m	<i>Anomala expansa</i> bei 31.40°C & 78% rel. Feucht.	<i>Orthetrum sabina</i> bei 32.02°C & 75% rel. Feucht.
0	-0.02	-0.23
170	-0.28	-0.58
220	-0.31	-0.63
315	-0.37	-0.82

die Luftbewegung nicht so stark beeinflusst wie die Wärmeabgabe. Es ist kaum nötig darauf einzugehen, dass die Schwankungen in der Wasserdampfabgabe der Insekten die grösste Rolle hierbei spielen.

Betrachten wir nun den Einfluss des Elektrogebläsewindes in der obigen Tabelle.

Der Wind übt im allgemeinen keinen Einfluss auf die Temperatur und Feuchtigkeit der

Luft aus, aber beschleunigt die Wärmeentziehung aus dem feuchten Körper, die durch Wasserverdunstung und durch Wärmeleitung erfolgt, daher ist die Körpertemperatur der Insekten umso niedriger, je grösser die Windstärke.

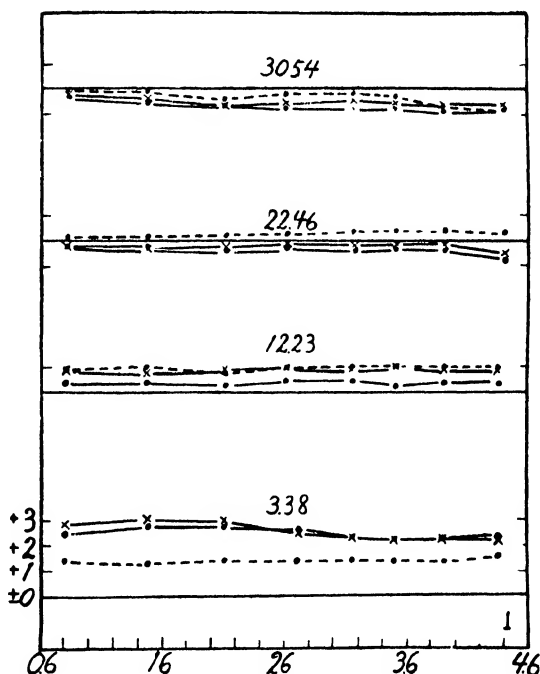


Abb. 3.

Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Körpertemperatur des lebenden *Orthetrum sabina* DRURY. Erklärung wie bei Abbildung 1.



## D. ZUSAMMENFASSUNG

Luftbewegung ruft bei getöteten und lebenden Insekten eine Erniedrigung der Körpertemperatur dadurch hervor, dass sie in erster Linie die Wasserdampfabgabe beschleunigt.

Zum Schluss dieser Mitteilungen spreche ich Fräulein Dr. F. LILIENFELD und Herrn Prof. H. KIHARA für das freundliche Durchsehen des Manuskripts meinen herzlichsten Dank aus.

## E. LITERATUR

- BENEDICT, F. G.: The physiology of large reptiles. New York (1932).
- KOIDSUMI, K.: Allgemeine Nachweise und quantitative Bestimmungen der tierischen Transpiration (Experimentelle Studien über die Transpiration und den Wärmehaushalt bei Insekten I.). Mem. Fac. Sci. Agri. Taihoku Imp. Univ. XII (1), 1-19 (1934).
- : Transpirationsgrösse an verschiedenen Stellen des Insektenkörpers ( „ II.). Ebenda, XII (1), 21-40 (1934).
- : Ueber die physiologischen Komponenten der tierischen Transpiration bei Insekten ( „ III.). Ebenda, XII (1), 41-79 (1934).
- : Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Insektentranspiration ( „ IV.). Ebenda, XII (1), 81-107 (1934).
- : Einfluss der Lufttemperatur auf die Insektentranspiration ( „ V.). Ebenda, XII (1), 109-124 (1934).
- : Einfluss der Luftbewegung und des Lichtes auf die Insektentranspiration ( „ VI.). Ebenda, XII (1), 125-136 (1934).
- : Ueber den zeitlichen Verlauf der Transpiration verschiedener Insekten bei verschiedener Luftfeuchtigkeit ( „ VII.). Ebenda, XII (1), 137-179 (1934).
- : Beziehungen der Bilanz des Wärmehaushaltes zur Temperatur des Insektenkörpers bei konstanter Lufttemperatur ( „ VIII.). Ebenda, XII (3), 281-315 (1935).
- : Ueber den Mechanismus des Temperaturwechsels der Insekten ( „ IX). Ebenda, XII (3), 317-337 (1935).
- : Ueber die Wege der Wärmeabgabe der Insekten ( „ X.). Ebenda, XII (3), 339-349 (1935).
- : Einfluss der Lufttemperatur und -feuchtigkeit auf die Körpertemperatur der Insekten ( „ XI.). Ebenda, XII (3), 351-371 (1935).
- REINHARD, C.: Beobachtungen über die Abgabe von Kohlensäure und Wasserdunst durch die Perspiratio cutanea. Z. Biol. V, 23-60 (1869).
- SCHIERBECK, N. P.: Ueber die Bestimmung des Feuchtigkeitsgrades der Luft für physiologische und hygienische Zwecke. Arch. Hyg. XXV, 196-226 (1895).
- WOLPERT, H.: Einfluss der Luftbewegung auf Wasserdampf- und Kohlensäureabgabe des Menschen. Ebenda XXXIII, 203-228 (1898).

臺北帝國大學理農學部紀要

第十三卷

昭和九年—昭和十一年

---

MEMOIRS  
OF THE  
FACULTY OF SCIENCE  
AND  
AGRICULTURE  
TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY

---

Volume XIII.

---

1934 - 1936

TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY  
FORMOSA, JAPAN



# CONTENTS

	<i>Page.</i>
HAYASAKA, Ichirô:—On the Occurrence of <i>Coronula</i> in the Younger Tertiary of Taiwan (Formosa). ... ..	1
HAYASAKA, Ichirô:—On the Fatal Effect of Cold Weather upon Certain Fishes of the Sea Around the Islands of Hôko (the Pescadores Islands): A Palaeontological Point of View. ... ..	5
HAYASAKA, Ichirô:—On Some North American Species of <i>Lithostrotionella</i> . ... ..	47
ICHIMURA, Takeshi:—Geological Investigations on Some Characteristic Haematite and Limonite Deposits in S. Heian-dô and Kôkaidô, Chôsen (Korea). ... ..	75
RIN, Tyôkei:—Stratigraphical Studies on the Younger Tertiary and Pleistocene Formations of Toyohara District, Taityû Prefecture, Taiwan. (Formosa). ... ..	13
TOMITA, Yosirô:—Physiographical Development of Homoclinal Ridges: An Example in Taiwan. ... ..	31



帝國大學理農學部紀要

第十三卷 第一號

昭和九年七月

MEMOIRS  
OF THE  
FACULTY OF SCIENCE  
AND  
AGRICULTURE

TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY

Vol. XIII, No. 1. 6

JULY, 1934

HAYASAKA Ichiro:

On the Occurrence of *Coronula* in the Young Tertiary  
of Taiwan (Formosa)

PUBLISHED

BY THE

TAIHOKU IMPERIAL UNIVERSITY

FORMOSA, JAPAN

## **PUBLICATION COMMITTEE**

**Professor Bunichirô AOKI**, Dean of the Faculty (*ex officio*)

**Professor Ichirô HAYASAKA**

**Professor Takashi MATSUMOTO**

**Professor Kichimatsu MATSUNO**

**Professor Tokuichi SHIRAKI**

**Professor Tyôzaburô TANAKA**

---

The MEMOIRS OF THE FACULTY OF SCIENCE AND AGRICULTURE, Taihoku Imperial University, are published occasionally by the University, which exchanges them with the publications of other learned bodies and institutions throughout the world. Separate series will be sent to individual research institutions, and complete series to the central libraries of universities and larger institutions. Copies of the Memoirs may also be obtained from MARUZEN COMPANY LTD., Tôkyô, Japan, and THE TAIWAN NICHU-NICHU SHINPÔ-SHA, Taihoku, Formosa, Japan.

All communications regarding the Memoirs should be addressed to the Dean of the Faculty of Science and Agriculture, Taihoku Imperial University, Taihoku, Formosa, Japan.

# ON THE OCCURRENCE OF *CORONULA* IN THE YOUNGER TERTIARY OF TAIWAN (FORMOSA)

(With Plates I-III)

Ichiro HAYASAKA.

(Accepted for publication, June 7 1934.)

Sometime ago I published a short note reporting the occurrence, of fossil specimens of a peculiar barnacle genus *Coronula* in the younger Tertiary of Taiwan.<sup>(1)</sup> Two specimens were then in my possession, one of which (Specimen No. 1) having been presented to me by Mr. K. YOSHIDA, and the other (Specimen No. 2) by the Sinkwa Public School in Tainan prefecture.

Mr. YOSHIDA found his specimen in a shell sandstone exposed at a place about 2 km. N. W. of Hukamizu police station, Okayama district, Takao prefecture.<sup>(2)</sup> Here, the shell sandstone which makes the lower part of the formation called the Mokusaku Beds,<sup>(3)</sup> yields many molluscan fossils, though they have not yet been examined palaeontologically: there are; *Dosinia gruneri* PHILIPPI, *Arca* sp., *Crassatelites* sp., *Paphia* sp., *Anadara* sp., *Architectonica maxima* (PHILIPPI), *Telescopium telescopium* L., *Polynices* sp., *Cypraea* sp., *Operculina venosa* FICHTEL and MOLL, *Ditrupa* sp., and several others.

The other specimen (No. 2) is one of the many and various fossils presented to me by Mr. R. KOKUBUN of the Sinkwa Agricul-

(1) I. HAYASAKA: On the Occurrence of Fossil *Coronula* (in Japanese). Taiwan Taigaku Kizi, p. 49. September 1933.

(2) 高雄州岡山郡深水

(3) 木欄層 See the Report on Geology of the Oilfield in the South-western Part of Kizan District, Takao Prefecture (in Japanese), 1932.

[Mem. of the Fac. of Sci. and Agr., Taihoku Imp. Univ., Formosa, Japan, Vol. XIII, No. 1, July, 1934.]



ture School. It was found by a pupil of the school washed out, together with many other kinds of fossils, on one of the alluvial plains of a valley near by: it is labelled to have been found in the neighbourhood of a small village Kôsirin,<sup>(1)</sup> Sinkwa district, Takao prefecture. The specimen is in a very good condition, being only slightly compressed laterally. During a short trip to this region in early December, 1933, I happened to find at Kôsirin, another fragmentary specimen of one and the same species which in this paper, is called the specimen No. 3.

*Coronula* is a genus known to be very widely distributed at present: it has been reported to have been found in various and remotely distant parts of the world, being found attached to the skin of certain Cetaceans. It may be useful at this place to quote NILSSON-CANTELL on the distribution of *Coronula diadema* (L.) to understand how widely this group of barnacles are dispersed: "Up to the present this species has been known from all the Pacific Ocean and from the arctic region, as well as from the northern part of the Atlantic Ocean."<sup>(2)</sup>

As to the fossil occurrence of the genus, however, information is rather scarce. CHARLES DARWIN describes, in his monograph,<sup>(3)</sup> a fossil species *Coronula barbara* from the Red Clay of England: it is a species very closely related to *C. diademe* (L.) which is considered by PILSBRY<sup>(4)</sup> the type of the genus, and is the commonest of the living species. *C. barbara* also resembles, in certain features, *C. balaenaris* (MUELLER): the latter species is regarded by PILSBRY as synonymous with *C. diadema*. DRAWIN in his description of *C.*

(1) 崎子林 (高雄県新化郡)

(2) CARL AUG. NILSSON-CANTELL: Cirripeden-Studien. Zur Kenntnis der Biologie, Anatomie und Systematik dieser Gruppe. Zoologiska Bidrag från Uppsala, VII, p. 373. 1921.

(3) CH. DARWIN: A Monograph of the Fossil Balanidae and Verrucidae of Great Britain, p. 38. Palaeontographical Society, 1854.

(4) H. A. PILSBRY: The Sessile Barnacles (Cirripedia) contained in the Collections of the U. S. National Museum: Including a Monograph of the American Species. Bulletin 93, U. S. Nat. Mus 1926.

*barbara*, quotes an Italian Tertiary species, *C. bifida* BRONN as comparable with the former. Another Italian Tertiary species is mentioned in PILSBRY's Monograph, namely, *C. diluviana* COSTA (1843) which appears "to be either *C. bifida* or *C. diadema*." *C. ficarazzensis* is another Tertiary species from Italy, described by DE GREGARIO in 1895: this is considered by PILSBRY to be very closely allied to one of the recent species, *C. reginae* DARWIN.

The structure of the test of *Coronula* was very elaborately investigated by DARWIN, and has become very well known to us. I have had the privilege of carefully examining a recent Formosan specimen of *C. diadema* in the Zoological Institute of our University. The details of the structure of the test are found in both DARWIN's and PILSBRY's monographs referred to above, and are quite easily accessible to anyone interested. A description, therefore, will not be repeated in this paper.

The specimens from Kôsirin, Tainan prefecture (Nos. 2 and 3) and the one from Hukamizu, Takao prefecture (No. 1) are in the general morphological and structural features quite alike. However, on examining them a little more carefully, we find that there are certain points of distinction between them. Specimens No. 1 and No. 2 were cut in transverse and longitudinal directions, and the cut-edges were polished, so that we can examine the structure and form of the body chamber and other features.

The body chamber of the specimen No. 1 is "very shortly barrel-shaped," with the basal opening as large as the orifice. The form of the test is also of a "short-barrel," although the specimen seems to have had its form a little altered during fossilization. The test is strongly narrowed at its base, and is, as a whole, markedly depressed.

The body chamber of this specimen to some extent resembles in form that of *C. complanata* as is described by PILSBRY, but the very narrow base of the test, which is narrower even than the orifice, is

the most characteristic feature. This specimen may, thus, represent a new species, and probably also a new subgenus.

The specimen No. 2 belongs to the type of the sub-genus *Coronula* of PILSBRY. The basal opening of the body-chamber is very much smaller than the orifice. The test is like a short cask in form, and the longitudinal or parietal ridges are less numerous than either the specimen No. 1 of Taiwan or *Coronula reginae* as is described by PILSBRY. The test is somewhat narrowed downwards, and in this respect the specimen differs from *C. reginae*, which is convexly conical in shape with a very large base. This specimen no doubt represents *Coronula diadema*. The specimen No. 3 is only a fragment of this species. But it is worthy of mention, because it is the second specimen of one and the same species from one and the same locality, suggesting its rather common occurrence in the region under consideration.

It is maintained by zoologists that when such barnacles as *Coronula* attach themselves to whales, they often approach the shore and try to rub off these epizoans against the bottom of the shallow sea. This approach of whales to coast is said to afford, at the same time, a chance for the barnacles to attach themselves to the skin of their host.

The younger Tertiary formation developed in the Tainan-Takao region consists mainly of sandstones and sandy shales, which seem to have been deposited in a shallow sea. The occurrence of *Coronula* in such a formation is therefore quite natural.

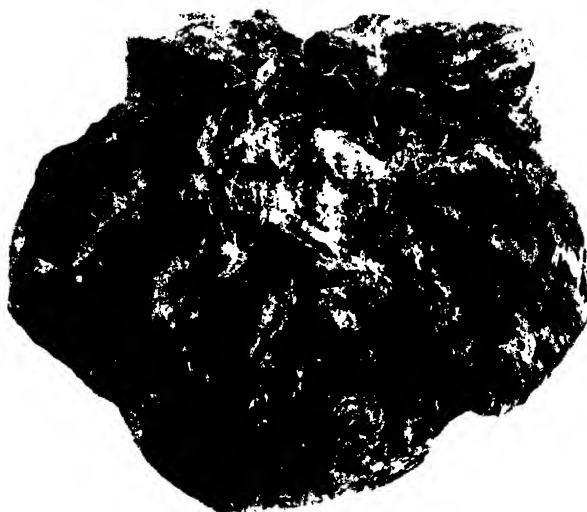
(May 30, 1934.)

# PLATE I.





1



2



3



## **PLATE II.**



## **Explanation of Plate II.**

(All the figures, in natural size.)

*Coronula diadema*. (L.). Specimen No. 2. (See figs. 3, 4, 5, Pl. III.)

Fig. 1. Seen from the side. As is seen in Figs. 2 and 3, the specimen is a little compressed laterally. Fig. 1 represents the longer side of the test.

Fig. 2. Seen from above.

Fig. 3. Seen from below.



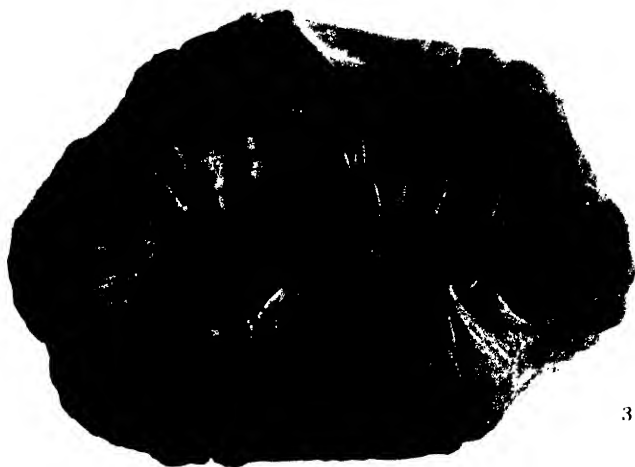




1



2



3



# **PLATE III.**

### Explanation of Plate III.

All the figures, in natural size.

*Conomala* sp. nov. Specimen No. 1. (See Figs. 1, 2, 3, Pl. I.)

Fig. 1. Longitudinally cut edge polished, to show the structure of the test as well as the shape of the body chamber, which is shortly barrel-shaped, with the basal opening somewhat larger than the orifice.

Fig. 2. Transversely cut edge polished.

*Conomala leucomela* (L.), Specimen No. 2. (See Figs. 1, 2, 3, Pl. II.)

Fig. 3. Longitudinally cut edge polished. The body chamber is cup-shaped, the basal opening being much smaller than the orifice.

Fig. 4. Transversely cut edge polished.

*Conomala diadema* (L.), Specimen No. 3.

Fig. 5. Specimen No. 3.







ON THE FATAL EFFECT OF COLD WEATHER UPON CERTAIN  
FISHES OF THE SEA AROUND THE ISLANDS OF HÔKO  
(THE PESCADORES ISLANDS):  
A PALAEONTOLOGICAL POINT OF VIEW

Ichirô HAYASAKA

(Accepted for publication, June 21, 1934.)

As far as my knowledge goes, the effect of cold weather, or, more strictly speaking, a sudden lowering of the atmospheric temperature on shallow sea organisms does not seem to have been duly evaluated as to it being the cause of their wholesale death. There is, however, no *a priori* reason to make us consider the cold as not being so harmful to the fish found, especially to those of shallow seas, as the volcanic eruptions and the change of salinity of the sea water, that have usually been believed to be the most common causes of the downfall of marine faunas and floras. From the palaeontological point of view, it must be said that the destroying or destructive effect of cold weather, especially in the tropical and subtropical seas, upon marine organisms deserves a little more serious consideration.

According to the records preserved in the Hôko Meteorological Station at Makô in the Pescadores, there were, during the past decade, seven winters when the mercury went down beyond 10°C. In three out of these seven cold winters, vast quantities of certain shallow water fishes were found stranded, all having died as a result of the cold. The other four cold winters did not find such a similar phenomenon. Unfortunately, observations have never been made on

the sea by anybody, therefore we can not get information concerning the temperature and other physical factors of the sea water itself that possibly were the cause of the death of the fishes.

A table is given here to show the mutual relation between the mode of change of the atmospheric temperature and the demolition of fishes, as was recorded during the January of this year, which is the third of the three injurious cold winters during the past decade (Table I). It is worthy of note that damage also resulted from the sudden lowering of the atmospheric temperature in the shallow fish-farms developed on the coastal plain of Tainan on the main island of Taiwan.

Table I.

Observation made at Makô by the Makô Observatory, from Jan. 16 to 30, 1934.

Observ. Date	Atmospheric Temperature				Water Temp.*	Wind Velocity		Stranded Dead Fishes
	Low.	High.	Aver.	Noon*		Maxim.	Aver.	
16	13.4	16.5	15.2	16.5	16.5	12.3	9.2	
17	13.0	15.1	13.9	16.0	15.5	14.2	11.5	
18	12.6	16.0	14.1	16.5	15.5	9.6	7.5	
19	11.5	15.1	12.9	15.5	14.5	14.2	11.0	
20	11.0	13.0	11.7	14.5	14.0	15.1	12.7	
21	11.2	13.8	12.0	14.5	13.5	14.2	11.9	
22	9.9	12.0	10.8	13.0	12.5	14.9	12.9	few
23	9.6	12.2	10.3	12.5	12.0	15.2	13.6	abundant
24	9.4	11.0	10.4	11.5	11.0	16.4	13.0	abundant
25	8.8	10.7	9.6	11.0	10.8	15.7	14.1	abundant
26	9.2	12.0	10.3	13.5	11.0	14.5	12.4	abundant
27	9.7	15.9	12.0	17.5	11.5	11.6	9.8	very abundant
28	11.7	14.5	12.7	18.0	13.0	9.5	6.3	none
29	12.6	18.4	14.8	15.5	0.6	9.2	6.3	
30	13.7	16.7	14.9	16.0	14.0	14.5	8.8	

\* These are records made by the pupils of the Aquaculture School: these values are not very reliable, but are given here for reference.

The average January and February atmospheric temperatures in the Pescadores (at Makô), computed from the records of observations since the Japanese occupation of Taiwan, are 16.3 and 15.7 degrees, respectively. The highest mean temperatures are 18.7 and 18.2, the lowest mean, 14.6 and 13.7,<sup>1)</sup> respectively. In the above table (Table I) we see that it was when the lowest atmospheric temperature is more or less below 10° that the fishes were stranded and dead: that is, when the temperature is about 4 or 5 degrees lower than even the mean lowest.

Such, and some other relations will be more convincingly displayed if we take into consideration the records of the two preceding fatally cold winters, which took place in the January-February of 1930, and of 1932, as are summarized in Tables II and III, respectively.

Table II.

Observations made at Makô by the Makô Observatory in January and February, 1930.

Observations Date	Lowest Atmospheric Temperature	Average Wind Velocity (m)	Stranded Dead Fishes
Jan. 25	10.5	10.8	
26	10.5	10.6	
27	11.2	11.5	
28	8.0	12.3	very few
29	9.6	11.6	few
30	8.9	10.4	abundant
31	10.0	11.2	abundant
Feb. 1	9.5	12.4	abundant
2	10.5	9.0	abundant
3	10.5	8.0	abundant
4	10.6	4.6	abundant
5	10.2	4.5	abundant
6	12.7	8.4	abundant

1) These values are quoted from the Almanac for 1934, edited by the Tôkyô Astronomical Observatory.

Observations Date	Lowest Atmospheric Temperature	Average Wind Velocity (m)	Stranded Dead Fishes
7	10.5	7.8	very abundant
8	10.6	7.2	
9	9.1	9.6	few
10	11.0	10.1	few
11	10.6	12.3	
12	11.0	11.0	few
13	10.6	9.3	very few
14	10.6	11.5	
15	10.2	12.1	

Table III.

Observations made at Makô by the Makô Observatory in  
January and February, 1933.

Observations Date	Lowest Atmospheric Temperature	Average Wind Velocity (m)	Stranded Dead Fishes
Jan. 25	11.4	12.3	
26	10.3	12.5	
27	9.5	12.5	
28	8.7	10.6	abundant
29	10.2	11.0	abundant
30	11.3	8.8	few
31	11.9	5.4	abundant
Feb. 1	12.4	5.8	few
2	13.9	10.2	few
3	12.9	12.2	

On scrutinising these three Tables, we see not only that the critical temperature is about  $10^{\circ}$ , but that there are, preceding the fatal moment, a few days with the temperatures which are over  $10^{\circ}$ , but lower than the mean lowest. Another point deserving of notice

is that the temperature lower than 10° seems to be fatal to fishes only when it lasts at least a few days without being interrupted.

Table IV.  
Cold Winter of 1925.

Date	Observations	Lowest Atmospheric Temperature	Average Wind Velocity (m)
Jan. 29		12.1	7.2
30		9.1	14.1
31		8.2	11.6
Feb. 1		8.6	10.8
2		10.8	10.6

Table V.  
Cold Winter of 1927.

Date	Observations	Lowest Atmospheric Temperature	Average Wind Velocity (m)
Jan. 20		14.9	9.7
21		12.9	12.6
22		10.2	10.7
23		9.8	11.0
24		12.5	6.1
25		13.4	8.6

Table VI.  
Cold Winter of 1931.

Date	Observations	Lowest Atmospheric Temperature	Average Wind Velocity (m)
Jan. 8		15.6	10.2
9		11.8	11.3
10		8.9	14.7
11		10.1	10.4
12		12.8	9.9
13		10.7	12.3

Table VII.  
Cold Winter of 1932.

Observations Date	Lowest Atmospheric Temperature	Average Wind Velocity (m)
Feb. 23	15.3	10.4
24	10.8	9.8
25	9.9	12.4
26	9.9	10.7
27	9.3	12.6
28	8.7	11.8
29	10.1	9.2

Here, the records of the four non-fatal cold winters may corroborate these statements.

Of these, Table VII deserves a special consideration. There were four consecutive days with the lowest temperatures below 10°, but it seems there was not a single dead fish found on the beach. Having no information, however, it is not easy to propound a reasonable interpretation. That the cold period as a whole had not been long enough may have been one of the reasons.

It seems that the kinds of fishes that were stranded were always few, and almost the same in each of the three recorded cases. Their popular names were reported to me by Mr. MITAMURA of Makô. By the kind assistance of Prof. HIRASAKA of the Zoological Institute of our University, I have been able to ascertain them to be: *Nippon spinosus* CUV. et VALENC., *Hexagrammus otakii* JORD. et STARKE, *Lethrinus* (? *L. haematopterus* TEMM, et SCHL.) with one or a few more: there were also a few *Sepia* sp. each time among the dead fishes. That the harmed fishes are almost always of the same kinds may be due first to the fact that the fatally low temperature occurs in almost the same period of the year, and, secondly to the possibility that the other fishes are either more resistant or beyond the reach of the damage.

It is generally known that certain fishes have a strong resistance against cold. KORSCHOLT, for instance, mentions the experiment when certain fish was cooled to  $-15^{\circ}$  so as to be frozen, yet it came to life again when very carefully and slowly melted (E. KORSCHOLT: *Lebensdauer, Altern und Tod*, Aufl., p. 224, 1922). It seems, therefore, that a low temperature must have some duration in order to become fatal to the fishes.

The phenomenon of fish dying from cold, as similar to that which took place in the Pescadores, possibly takes place every where in the world, though such information, as far as I am aware, is scanty. A case was observed along the coast of New England in 1882. Fishes that had been living in a warmer water died when a cold stream encroached upon their domain (Rudolf HOERNES: *Das Aussterben der Arten und Gattungen, sowie der grösseren Gruppen des Tier- und Pflanzenreichs*, Pp. 235, 239-240, 1911). Although this was quoted by HOERNES with a certain other purpose in view, it may be accepted as one recognized example of the deadly effect of cold upon fishes.

During the winter, 1934, at about the same time as at the Pescadores, a similar freezing to death of fishes were reported to have taken place in the neighbourhood of Hagi in Yamaguti prefecture, as well as at a certain place in Wakayama prefecture, in Japan. There might have been some more similar cases elsewhere which the newspapers did not report.

With the uniformitarian view in mind, we can not but assume the similar phenomenon to have repeatedly taken place during the long past of the earth's history.

Although the cold alone may not have been the cause of the death of those fishes, or even perhaps the wind and the cold stream, for instance, if taken into consideration, we may conclude, though tentatively, that there exists certain relations between the death of the fishes and the low atmospheric temperature. There is still no oceanographical and meteorological observations available pertaining to the relations between the atmospheric temperature changes and the



streams of the sea around the Pescadores. Even if we could make use of the records of such observations, the relation between the atmospheric temperature and the death of fishes may remain unaltered.

The conclusion should be that, fishes and some other free swimming marine organisms possibly have died *en masse* from cold, so as to be fossilized. To this I may subjoin that, from the continued observations of the atmospheric temperature changes in the Pescadores as well of course as at Tainan, we may be able to forecast the death from cold of certain fishes in the shallow sea in the neighbourhood as well as in such fish-farms as are in the neighbourhood of Tainan. Moreover, we may perhaps expect, from certain fish beds, some suggestions as to the physical conditions under which these fishes were once living.

(April 5, 1934)

---

# STRATIGRAPHICAL STUDIES ON THE YOUNGER TERTIARY AND PLEISTOCENE FORMATIONS OF THE TOYOHARA DISTRICT, TAIYŪ PREFECTURE, TAIWAN (FORMOSA)

(With 1 Text-figure, Plates IV-VII, and 1 Geological Map)

Tyôkei RIN

(Accepted for publication, September 10, 1934)

---

## C O N T E N T S

- I. Introduction
- II. Stratigraphy
  - (A) General Remarks
  - (B) Description of the Series
    - A. Syukkôkô Series
      - a) Syukkôkô Group
      - b) Kantôsan Group
    - B. Toyohara Series
      - a) Hitôsan Group
      - b) Takuran Group
    - C. Tôkazan Series
      - a) Lower Tôkazan Beds
      - b) Transition Beds
      - c) Upper Tôkazan Beds
    - D. Terrace Deposits
  - (C) A Consideration on Geological Age
  - (D) Columnar Section
  - (E) A Correlation Table
- III. Topography

## I. Introduction

Toyohara (豊原) is the writer's home town. It lies about 13 km. north of Taityû (臺中). What I describe here as "Toyohara district" is the hilly land, extending from north to south, along the eastern border of the town of Toyohara. The hilly land spreads over parts of the Sintiku (新竹) and Taityû Prefectures, involving five countries of Byô-

ritu (苗栗), Taiko (大湖) (Sintiku Prefecture), Tôsei (東勢), Toyohara and Daiton (大屯) (Taityû Prefecture), and occupies an area of about 400 sq. km.

In the area under consideration most of the formation of Neogene Tertiary (especially of Pliocene) and Pleistocene of the islands are well represented, but, up to the present, detailed researches have never been carried out. Only a reconnaissance survey was made several years ago, by Messrs. ÔINOUE and IZUKA, geologists of the Imperial Geological Survey (Tôkyô).<sup>1)</sup> More recently, however, a detailed survey has been done by Mr. TORII, geologist of the Government General of Taiwan, though the results may not be published for sometime.

The rock formation developed in the area concerned has been divided into smaller units with several local names, although the Syukkôkô (出磺坑) series has been adopted from previous authors.

Points of special interest in this paper may be 1) the discovery in the Toyohara series of plant bed which is thin but quite persistent in extension, and 2) the discovery of mammiferous beds that occupy the upper conglomeratic part of the Byôritu Group of Imperial Geological Survey, which in my field, is called the lower Tôkazan beds. The upper part of the Tôkazan series is almost equivalent to the Syokkôsan (觸口山) beds of the Imperial Geological Survey. The difference lies in that the Syokkôsan beds are said to lie unconformably on the next older Byôritu beds, while the upper Tôkazan beds are continuous with the lower Tôkazan beds (the uppermost part of the Byôritu beds), only gradually becoming a gravel or conglomerate. According to Prof. HAYASAKA, however the Syokkôsan Beds at Syokkôsan are not discontinuous with the underlying Byôritu beds.<sup>2)</sup>

In carrying out the present study the writer has been under the direction of Professor HAYASAKA, whose constant and encouraging leadership both in laboratory and in the field has guided me to this effect. To Assistant-Professor ICHIMURA I owe my petrographic knowledge of sedimentaries of my field; Assistant-Professor TOMITA has been kind enough to interpret and explain the topographical relation. The writer is also very

---

<sup>1)</sup> General Geological Map of the Oil Field in Taiwan 1:200,000, and its Explanatory Text, (Japanese) 1928.

<sup>2)</sup> I. HAYASAKA:—Syokkôsan Beds at Syokkôsan (Japanese), Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 2 (1931) p. 81.

„ —On the so-called Syokkôsan Beds (Japanese), Jour. of the Geol. Soc. of Tokyo, Vol. 40, No. 477, p. 364, 1933.

much indebted to Mr. TAN, who has assisted me in every way in making the study possible. Thanks to his determination of the molluscan fossils collected by me, the difficult work of stratigraphical zoning has been very much facilitated. To all of them I want to offer my hearty thanks.

Thanks are also due to Messrs. TORII and RYŪ; the former having allowed me to accompany him in his field work of the same district for a few days; the latter having kindly helped me in collecting the fossil mammals.

## II. Stratigraphy

### (A) GENERAL REMARKS

The succession of the rock formation exposed in the area concerned amounts to 4800 m. in thickness; and makes a great synclinal structure, which has an axis extending approximately from north to south, being cut off by Taimaho (大茅埔) reversed fault at the southeast border of the area.

The following formations are recognized as the stratigraphical units in this area: the diastrophic intervals recognized are also mentioned in the table.

#### D. Pleistocene:

New River Terrace Deposits

Lateritic Terrace Deposits

—OROGENIC MOVEMENT—

#### C. Tōkazan Series (Plio-Pleistocene):

Younger Tōkazan Stage:

Upper Tōkazan Beds

Older Tōkazan Stage:

Transition Beds

Lower Tōkazan Beds

—UPHEAVAL OF LAND—

#### B. Toyohara Series (Pliocene):

Takuran Stage:

Marine Fossil Beds

Plant Fossil Beds

Marine Fossil Beds

Ostrea Beds

Marine Fossil Beds

Hitōsan Stage:

Sandy Shale alternating with Sandstone

Upper Sandy Shale

Shaly Sandstone

Lower Sandy Shale

—SUBSIDENCE OF LAND—

## A. Syukkôkô Series (Miocene):

## Kantôsan Stage:

## Kantôsan Sandstone

## Coarse-grained Quartz Sandstone

## Infra-Kantôsan Stage:

## Syukkôkô Beds

The rocks consist generally of littoral or sublittoral deposits. The Kantôsan (關刀山) stage of deposition begins with the angular beach sand (namely, the "coarse-grained quartz sandstone"), being transgressively followed by the medium-grained "Kantôsan sandstone" and the sublittoral "lower sandy shale" of the Hitôsan group.

The Hitôsan group consists mainly of soft materials of sandy shale and shaly sandstone. The Takuran (卓蘭) group is composed of the alternation of beds of sandstones and shales, involving shallow-water and brackish water facies, as is indicated by horizon with terrestrial plant fossils.

Judging from the nature of the sediments and fossils, the Toyohara series seems to represent an age of oscillation. At the end of the Takuran stage the area experienced an upward movement, and certain parts of the terrane of the Neogene Tertiary might have emerged from the sea level and supplied the materials for the deposition of the lower Tôkazan (頭嵯山) beds at certain places.

The older Tôkazan stage is represented by the deposits of brackish water facies, containing mammal remains, as is developed in the Tôkazan region in the south-east; it is a sublittoral facies in the Kaenzan (火炎山) region in the north-west. The former region changes into fresh water facies and the latter intermingles abundant fresh water gastropods among the marine molluscs because of the succeeding regression which has taken place between the older and the younger Tôkazan stages. At about that time Taiwan must have been in uncommonly wet, rainy climatic condition, and the deposition of the fresh water conglomerate widely distributed in Taiwan seems to have taken place. Marine regression has been continued till the end of the younger Tôkazan Stage, as is manifest from the vertical changes in the distribution of the size of its gravels—an upward increase of their size.

There happened an orogenic movement between the younger and the post Tôkazan stages, accompanying dislocation, for instance, the Taimaho (大茅埔) reversed fault (see Pl. VI, Fig. 2) and others.

Several periodic upheavals took place, forming several terraces along the river flowing through the area under consideration.

## (B) DESCRIPTION OF THE SERIES

### A. SYUKKÔKÔ SERIES

This is the lowest division of the total succession in this district. The rocks are easily distinguished from those of the overlying strata by their higher grade of consolidation: it is divisible into two groups, the lower, the Syukkôkô group and the upper, the Kantôsan group.

#### a) SYUKKÔKÔ GROUP

This group roughly corresponds to the "Syukkôkô Beds" of TORII and YOSIDA<sup>3)</sup> who intended to designate an important oil bearing formation in Sintiku Prefecture. They classified this group into the following four subdivisions according to the lithological character.

Upper series of sandstone and shale in alternation: 600 m.

Shale: 430 m.

Sandstone: 140 m.

Lower series of sandstone and shale in alternation: more than 200 m.

The rock exposed in the area is only the uppermost part, and it is composed of a repeated succession of beds of sandstone which is about 20 m. in thickness and thin-banded alternating series of sandstone and shale.

According to the authors above mentioned, this formation is sometimes intercalated by coal seams in the upper part; and the sandstone in the lower part contains *Operculina* (*Operculinella*) *venosa* (FICHTEL et MOLL), remains of molluscs, echinoids and some other fossils. In the writer's field, however, no fossils have been discovered, because the exposure of the formation is quite limited.

#### b) KANTÔSAN GROUP

It is composed of an angular coarse-grained quartz sandstone at the base and a medium-grained, hard, calcareous sandstone (Kantôsan sandstone) in the upper part.

Coarse-grained Quartz Sandstone.—This is the "White Sandstone" of the Byôritu Oil Field.<sup>4)</sup> It is only 70 m.—80 m. in average thickness, but is rather widely distributed: it is an important key bed in the stratigraphical survey in and around the Byôritu Oil Field. But it is gradually thins out southward.

Concerning the petrographical constitution of this formation ICHI-

---

<sup>3)</sup> K. TORII and K. YOSIDA:—Geological Maps of Byôritu and Tikutô Oil Fields, Sintiku Prefecture, 1: 30,000; and their Explanatory Text (Japanese), 1932.

<sup>4)</sup> K. TORII and K. YOSIDA:—op. cit.

MURA, carried out a series of investigations.<sup>5)</sup> According to him the rock is composed of quartz, orthoclase, microcline, plagioclase, zircon, monazite, tourmaline, garnet, rutile, hornblende, biotite, staurolite, epidote, pyrite, magnetite, titanite, leucoxene, brown ore, etc. Quartz, of course, is the most abundant element and attains to 70%–80% of the total volume.

According to ICHIMURA's opinion these sediments possibly originated in some granites, metamorphic sedimentary rocks or gneises, that are not known at present to develop in Taiwan. HAYASAKA, who has the knowledge of the geology of the opposite coast of the Strait of Taiwan, assumes the source of such rock-forming minerals to be there. The results of ICHIMURA's petrographical study seems to provide the basis for this conclusion.

Kantôsan Sandstone.—Compact, calcareous sandstone, medium-grained, greenish grey in colour, somewhat glauconitic, being occasionally intercalated by thin layers of shale and very scarcely by bands of pebbles. Possible total thickness is about 250 m.–350 m.

*Operculina* (*Operculinella*) *venosa* (F. et M.) (see Pl. VII, Fig. 1) is exclusively abundant, while molluscs are not numerous, being represented by a few such forms as *Oliva* sp., *Rostellaria* sp., *Pecten* (*Amusiopecten*) *yabei* NOMURA, *Venericardia* sp., *Cardium* sp., etc.

## B. TOYOHARA SERIES

This is conformably overlying the Syukkôkô series, and it develops over a considerable part of the area. This is divided into two groups; the lower, the Hitôsan group and the upper, the Takuran group.

### a) HITÔSAN GROUP

It mainly consists of sandy shale and shaly sandstone with calcareous nodules. There are abundant remains of *Rotalia schroeteriana* PARKER et JONES and *Ditrupa* sp., together with a species of crab-fish, *Eurycarcinus formosensis* nov. sp.<sup>6)</sup> which is rather common throughout the thickness of this group. This group is subdivided, in descending order as follows:

Sandy shale alternating with sandstone: 250 m.

Upper sandy shale: 350 m.

Shaly sandstone: 260 m.

Lower sandy shale: 110 m.

Lower Sandy Shale.—Massive sandy shale, dark grey, glauconitic,

<sup>5)</sup> T. ICHIMURA:—Geological Considerations on the so-called White Sandstone from the Byôritu Oil Field and its Vicinity, Formosa (Japanese). Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 4 (1933) p. 51 and Jour. of the Geological Soc. of Tôkyô, Vol. XL (1933) p. 741.

<sup>6)</sup> T. RIN:—On a Fossil Species of *Brachyura* from the younger Tertiary of Taiwan—Graduation thesis—

with abundant foraminifers and molluscs. Of the foraminifers the mixed occurrence of *Operculina* (*Operculinella*) *venosa* (P. et M.) and *Rotalia schroeteriana* P. et J. is rather characteristic. Of the molluscan fossils *Cassis pila* REEVE, *Conus* *af. sinensis* SOW., *Fulgoraria* (*Psephaea*) *sp.*, *Fusus* *sp.*, *Murex* *cfr. ternispina* LAM., *Murex* *sp. b*, *Murex* *sp. c*, *Oliva mustellina* LAM., *Bursa subgranosa* (SOW.), *Bursa* *sp?*, *Rapana* *cfr. bulbosa* (PHIL.), *Rostellaria* *cfr. fusus* LIN., *Tonna costatum* MENKE, *Turritella filiola* YOK., *Voluta* *sp.*, *Xenophora* *cfr. solidiformis* TESH., *Arca* (*Trisidos*) *cfr. kiyonoi* MAK., *Arca* (*Arca*) *philippiana* (DUNK.), *Cardita?* *sp.*, *Cardium arenicola* RVE., *Cardium* *cfr. arenicola* RVE., *Cardium* *sp. a*, *Cardium* *sp. b*, *Clementia nonscripta* (SOW), *Aloides* *sp.*, *Crassatellites* *cfr. formosanus* NOM., *Cucullaea granulosa* (JONAS), *Cucullaea* *cfr. granulosa* (J.), *Diplodonta* *cfr. semiaspara* PHIL., *Diplodonta* *sp.*, *Dosinia* *sp. c*, *Gafrarium* (*Circe*) *scriptum* (L.), *Ostrea* *sp.*, *Paphia* (*Paphia*) *amabilis* (PH.), *Paphia* (P.) *undulata* (BORN), *Paphia* (P.) *cfr. undulata* (B.), *Paphia* *sp. a*, *Pecten* (*Amusium*) *sp. g*, *Pecten* (*Vola*) *sp. a*, *Pharella* *sp.*, *Tellina* *sp. a*, *Tellina* *sp. b*, *Tellina* *sp. c*, *Venus* (*Chione*) *marica* PILS., are identified.

Among these *Cassis pila*, *Pecten* (*Vola*) *sp. a*, *Clementia nonscripta*, *Amusium* *sp. g*, and *Rapana bulbosa* are of the prime importance, because these are not found in other beds of the region.

Shaly Sandstone.—Greyish, massive, calcareous shaly sandstone, being intercalated by thin beds of shale and sandstone, yielding abundant fossils of *Rotalia schroeteriana*: molluscan remains are scarce, namely, *Oliva mustellina*, *Venericardia* *sp.*, *Cucullaea granulosa*, *Ostrea* *sp.*, *Corbicula?* *sp.*, etc.

Upper Sandy Shale.—This approximately corresponds to the Kinsui (錦水) shale in the Byōritu Oil Field:<sup>7)</sup> and it is found widely distributed in Sintiku and Taityū Prefectures. It is a dark grey massive sandy shale, hardly distinguishable from that of the lower sandy shale.

Richly fossiliferous: besides *Ditrupa* and *Rotalia schroeteriana*, abundant remains of such molluscs as *Siphonalia* *sp.*, *Conus oinouyei* YOK., *Conus* *cfr. sinensis* SOW., *Conus* *sp. b*, *Cymatium* *sp.*, *Fulgoraria* *sp.*, *Babylonia* *sp.*, *Mangellia* *sp.*, *Murex* *sp. a*, *Natica* *sp. a*, *Oliva mustellina* LAM., *Pleurotoma oxytropis* SOW., *Pleurotoma* *cfr. oxytropis* SOW., *Bursa subgranosa* (SOW.), *Bursa* *sp.*, *Rostellaria* *cfr. fusus* LIN., *Turritella* *sp.*, *Arca* *sp. a*, *Arct* *sp. c*, *Aloides frequensis* (YOK.), *Aloides* *sp.*, *Cucullaea granulosa* (JONAS), *Dosinia* *sp. a*, *Dosinia* *sp. c*, *Gafrarium* (*Circe*) *scriptum* (L.),

<sup>7)</sup> K. TORII and K. YOSIDA:—op. cit. 3



*Marcia* cfr. *remularis* LAM., *Paphia* (*Paphia*) *undulata* (BORN), *Paphia* (P.) cfr. *undulata* (B.), *Pholas* sp., *Pinna* sp. a, *Venericardia granulicostata* NOM., and echinoid *Clypeaster* cfr. *japonicus* DÖDL and crabfish *Eurycarcinus formosensis* n. sp., recognized to occur.

Sandy Shale alternating with Sandstone.—At the uppermost portion of the Hitôsan group, the characteristic dark grey sandy shale is intercalated by sandstone bands, and gradually changes into the Takuran group.

The most common fossils are *Ditrupa*, *Rotalia schroeteriana*, *Eurycarcinus formosensis* rarely accompanying some such molluscs as *Arca* (*Arca*) *granosa*, *Arca* (*Trisidos*) cfr. *kionoi*, *Rostellaria* cfr. *fuscus*, etc.

#### b) TAKURAN GROUP

This consists of the alternating beds of sandstone and shale. Facial changes of the rocks are quite evident; sandstone often laterally changes into shale in rather a short distance. Lithological subdivision of this formation is therefore hardly possible. The following five subdivisions are based on the difference in the fossil contents.

Marine fossil beds: 200 m.

Plant fossil beds: 80 m.

Marine fossil beds: 700 m.

Ostrea beds: 350 m.

Marine fossil beds: 450 m.

Marine Fossil Beds.—Here the lower, the middle and the upper marine fossil beds are described collectively, because they are very similar each other in every respect.

The shells of marine molluscs and their fragments are scattered irregularly throughout the beds. They are not so well preserved, as to allow the specific determination. They are determined to be: *Natica* sp., *Oliva* sp., *Rostellaria* sp., *Turritella filiola* YOK., *Pholas* sp., *Anomia lischkei* F. et P., *Arca* (*Arca*) *granosa* L., *Arca* (*Arca*) *cornea* RVE., *Aloides* sp., *Dosinia* sp., *Murex* sp., *Venericardia* sp., *Solen* sp., *Ostrea* sp., etc.

Ostrea Beds:—There are two ostrea zones in the Ostrea beds, with an interval of about 250 m. between them. Ostrea zones consist almost of *Ostrea* cfr. *gigas* THUNBERG, and sometimes accompanied by *Paphia* (*Paphia*) sp., *Arca* (*Arca*) sp., *Cardium* sp., *Aloides* sp., *Balanus* sp., etc.

*Ostrea* cfr. *gigas* THUNB. in the Ostrea zones is large in size and most of them attain 20 cm.–30 cm. in height. According to HAYASAKA,<sup>8)</sup> the Ostrea beds may have been deposited under a very special physical

<sup>8)</sup> I. HAYASAKA:—On Certain Ostrea-Beds of the Neogene Tertiary of Taiwan (Japanese with an English Summary). Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 5 (1934) P. 27.

condition, because the beds containing a great quantity of shells of such large forms have very wide distribution, not only in the field under consideration but it also extends far toward north and south in Taiwan: in no other rock beds similar occurrence has been found. HAYASAKA considers that there must have been, in the recent geohistory of Taiwan, a period when oysters were under a particularly favourable condition of life, so that the *Ostrea* beds above described may well be regarded as the important key beds for the reconstruction of the recent geohistory of Taiwan.

Plant Fossil Beds.—Made up of fine-grained sandstone, usually white, sometimes brown or greyish blue.

The fossils are densely accumulated at certain exposures, but very scarce at others. As the fossiliferous part is very thin, it is very hard to trace the exposures in the field. The preservation of leaves is not so favourable as to allow a palaeontological determination.

### C. TÔKAZAN SERIES

Tôkazan series develops in two regions in my field, namely Tôkazan region in the southeast and Kaenzan region in the northwest. The relation between Tôkazan series and underlying Toyohara series is apparently conformable. But as the former contains gravels of the latter at certain places, there may be a slight unconformity (of a local nature?) between these two series. An upheaval of a part or parts of the Toyohara series causes the partial erosion of the upheaved part or parts, supplying the debris to thrown into the field of deposition, where the deposition has not been interrupted from the lower to the upper part of the Tôkazan series.

This series is characterized by an abundant occurrence of carbonized driftwoods in it: a certain amount of pebbles also accompany this series. This series is classified into the following subdivisions by means of the lithological natures:

Upper Tôkazan beds: more than 500 m.

Transition beds: variable, 50–100 m.

Lower Tôkazan beds: 900 m.

#### a) Lower Tôkazan Beds

The lower Tôkazan beds in the area, as they have already been mentioned, are divisible into two facies laterally, namely, the brackish facies in Tôkazan region, and the shallow sea facies in Kaenzan region.

TÔKAZAN REGION.—Here the beds consist mainly of sand and clay, intercalated by pebble bands. Pebbles are usually rather small in quantity,

but sometimes very abundant.

The molluscan fauna is too poor to furnish any valuable suggestion as to the geological correlation, only yielding *Ostrea* cfr. *gigas* THUNB., *Placuna placenta* (L.), *Anomia lischkei* F. et D., *Arca* (*Arca*) *granosa* L., *Cyclina sinensis* (GMEL.), *Siliqua* sp., *Meretrix* sp., *Corbicula*? sp., etc.

This is also one of the mammiferous formations. At the upper course of Taikô-kei<sup>9)</sup> the following forms occurred.<sup>10)</sup>

*Stegodon* aff. *sinensis* OWEN

*Rhinoceros* sp.

*Cervus* sp.

The occurrence of *Stegodon* aff. *sinensis* OWEN from Taikô, *St. insignis* FALC. et CAUT. from Simonankô,<sup>11)</sup> reported by HAYASAKA,<sup>12)</sup> originated undoubtedly in this formation. Besides these, *Carcharodon* sp. and plant fragments occurred.<sup>13)</sup>

KAENZAN REGION.—The beds are mostly composed of unconsolidated yellowish brown sands, laminated with thin layers of clay; pebbles and fragments of driftwoods are sometimes contained in it.

This formation and the lower Tôkazan beds at Kaenzan region are regarded as contemporaneous deposits with different lithological and biological faëies, because: a) at both localities the beds gradually change into the upper Tôkazan conglomerate, which has to be considered as a deposit under a particular climatic condition; b) near Siko<sup>14)</sup> remains of Mammals occurred in the northern extension of this formation, namely *Cervus* sp., *Bibos*? sp., *Stegodon*? sp., as was reported by Mr. TAN;<sup>15)</sup> the *Cervus* sp. from Siko is exactly the same species as that from Taikô; c) the beds contain at both localities more or less quantity of pebbles and driftwoods.

Abundant molluscan fossils, obtained from this formation were

9) 臺中州大屯郡北屯庄大坑溪

10) T. RIN:—On the Occurrence of Fossil Mammals in Taiwan (Japanese). Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 4 (1933) P. 25.

I. HAYASAKA:—The Mammiferous Beds of the Tertiary Formation of Taiwan (Japanese) Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 4 (1933) P. 51.

11) 臺中州豐原郡豐原街下南坑

12) I. HAYASAKA:—On the Occurrence of *Stegodon* in Taiwan (Japanese). Jour. of the Geol. Soc. of Tôkyô, Vol. 37 (1930) P. 483; ditto:—A second Remark on the *Stegodon* from Taityû-syû (Japanese). Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 4 (1933) P. 51.

13) Fossil mammals and fish remains were determined by Prof. HAYASAKA.

14) 新竹苗栗郡四湖庄四湖

15) K. TAN:—A New Fossil Locality of Fossil Mammals (Japanese). Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 4 (1933) P. 41.

reported by YOKOYAMA,<sup>16)</sup> YABE and HANZAWA,<sup>17)</sup> NOMURA,<sup>18)</sup> HAYASAKA and TAN<sup>19)</sup> collectively as the fossils from the Byôritu formation molluscs.

The following is the list of molluscan fossils obtained by me:

*Chicoreus* sp., *Clanculus* cfr. *denticulatus* GRAY, *Columbella* sp., *Conus comatosaeformis* YOK., *Conus* sp. a, *Cymbium indicum* GMEL., *Fusus* sp. a, *Babylonia formosus* (SOW.), *Mitra gembacana* MART., *Mitra isabella* SOW., *Mitra rembangensis* MARTIN, *Mitra* sp., *Murex* sp. d, *Nassarius canaliculatus* (LAM.), *Nassarius gemmulatus* (LAM.), *Nassarius verbeeki* MART., *Nassarius* sp., *Natica ruflabris* RVE., *Natica* sp. c, *Nerita* sp. b, *Niso* cfr. *obtusocarinata* MAK., *Oliva mustellina* LAM., *Oliva* sp. a. *Oliva* sp. b, *Phalium* cfr. *japonica* RVE., *Phalium* sp., *Pleurotoma carinata* GRAY, *Pleurotoma javana* (L.), *Pleurotoma oxytropis* SOW., *Pleurotoma principalis* PILSB., *P.* cfr. *principalis* PILSB., *Pleurotoma pseudoprincipalis* (YOK.), *Pleurotoma tigrina* LAM., *Pleurotoma* sp., *Polinices powicianus* RECL., *Potamides fluviatilis* P. et M., *Bursa subgranosa* (SOW.), *Rostellaria spinifera* MART., *Rostellaria* sp., *Strombus japonicus* REV., *Strombus* cfr. *japonicus* RVE., *Strombus* sp., *Terebra lischkeana* DK., *Terebra naumanni* YOK., *Tonna costatum* MENKE, *Tonna* sp., *Turritella fliola* YOK., *Umbonium costatum* (V.), *Dentalium octogonum* LAM., *Dentalium* (*Antalis*) *weinkauffi* DUNKER, *Anomia lischkei* D. et F., *Arca* (*Arca*) *cornea* RVE., *Arca* (*Trisidos*) *kiyono* MAK., *Arca* (*Arca*) *inflata* RVE., *Arca* (*Arca*) *phillippiana* (DK.), *Arca* (*Barbatia*) *symmetrica* RVE., *Arca* (*Barbatia*) *yokoyamai* NOM., *Cardium burchardi* DK., *Aloides erythron* (LAM.), *Crassatellites loebeckei* (KOB.), *Cucullaea granulosa* (J.), *Dosinia gruneri* (PHIL.), *Dosinia* sp. b, *Glycimeris formosana* (YOK.), *Macoma* sp., *Macrocallista pacifica* (DILL.), *Macrocallista* sp., *Mactra* sp., *Meretrix meretrix* (L.), *Myodora* cfr. *reeveana* SMITH, *Ostrea denselamellosa* LISCH., *Ostrea gigas* TH., *Ostrea* cfr. *gigas* TH., *Paphia* (*Paphia*) sp., *Pecten* (*Vola*) *byoritsuensis* NOM., *P.* (*Vola*) *naganumanus* YOK., *Pecten* (*Amusium*) *pleuronectes* (L.), *Pecten* (*Pecten*)

16) M. YOKOYAMA:—Mollusca from the Oil Field of the Island of Taiwan. Report of the Imp. Geol. Surv. of Japan, No. 101, 1928.

17) H. YABE and S. HANZAWA:—Stratigraphical Studies of the Tertiary Foraminifera Rocks of Taiwan. (Japanese). T. Ogawa Memorial Volume in Celebration of his 60th Birthday 1930.

18) S. NOMURA:—Catalogue of the Tertiary and Quaternary Mollusca from the Island of Taiwan (Formosa) in the Institute of Geology and Palaeontology. Tôhoku Imp. Univ. Sendai, Japan. Part I, Pelecypoda. Sci. Rep. of the Tôhoku Imp. Univ. 2nd ser. (geol.), Vol. XVIII, No. 1.

19) I. HAYASAKA and K. TAN:—Geological Summary of the Molluscan-fossiliferous Beds near Hakusyatou, Sintiku Pref. Taiwan. Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 5 (1934) p. 37.

*squamatus* (GMEL.), *Pecten* (P.) *cf.* *squamatus* GM., *Pecten* (P.) *satoi* YOK., *Pitar indecoroides* (YOK.), *Solen sp. a*, *Sunetta excavata* HAN., *Tellina sp. d*, *Venericardia crenuricostata* NOM., *Venericardia granulicostata* NOM., *Venus* (*Chione*) *foliacea* PHIL.

These molluscan fossils occur in association with abundant remains of such corals as *Flabellum sp.*, *Heteropsammia cochlea* (SPENGLER) *var. alta* YABE et EGUCHI; an echinoid *Echinarachnius mirabilis* AGASSIZ as well as certain lower foraminifers.

#### b) Transition Beds

The lower Tôkazan beds are superposed conformably by the alternating beds of sand, clay and gravel, all of similar thickness of about 5 m.-10 m.

In the Tôkazan region this is represented by fresh water deposits, with *Corbicula sp.*, *Unio sp.*, *Potamides fluviatilis* P. et M., etc.

It is a remarkable fact that in the transition beds of Kaenzan region, the rich marine molluscs are accompanied by abundant fossils of fresh water *Melanoides*. These beds were possibly deposited under an estuarine condition with some fresh water flowing into it.

Here I obtained the following species of molluscs:

*Cerithium sp.*, *Hipponix sp.*, *Melanoides sp. a*, *Melanoides sp. b*, *Melanoides sp. c*, *Mitra gembacana* MART., *Mitra isabella* SOW., *Mitra rembangensis* MARTIN, *Mitra sp.*, *Murex sp. a*, *Murex sp. b*, *Murex sp. c*, *Nassarius gemmulatus* LAM., *Nassarius verbeeki* MART., *Nassarius sp.*, *Natica rufilabris* RVE., *Nerita sp. a*, *Oliva mustellina* LAM., *Oliva sp. a*, *Oliva sp. b*, *Pleurotoma javana* (L.), *Pleurotoma oxytropis* SOW., *Pleurotoma principalis* PILSB., *Pleurotoma sp.*, *Potamides fluviatilis* P. et M., *Bursa subgranosa* (SOW.), *Rostellaria spinifera* MART., *Terebra lischkeana* DK., *Terebra sp.*, *Thais cf. bronni* (DKR.), *Umbonium costatum* (V.), *Dentalium octogonum* LAM., *Anomia lischkei* D. et F., *Arca* (*Trisidos*) *kiyonoi* MAK., *Arca* (*Arca*) *yokoyamai* NOM., *Arca sp. b*, *Chama sp.*, *Pecten* (*Vola*) *byoritsucensis* NOM., *P. (Vola)* *naganumanus* YOK., *Pinna sp. b*, *Pitar indecoroides* (YOK.), *Tellina sp. e*.

(In geological map these beds are not distinguished from the lower Tôkazan beds for the sake of the convenience in mapping.)

#### c) Upper Tôkazan Beds

These consist of massive conglomerate (see Pl. V. Fig. 1, and Pl. VI, Fig. 1), probably of fluvatile origin, very seldom intercalated by thin bands of sand and clay, less than 50 cm. in thickness. Gravels were nearly

completely sorted, their size varying in diameter about 10 cm. in the lower part, up to about 1 m. upwards. At Kaenzan there exist many irregular crossbeddings as shown by the intercalated sand bands. This conglomerate is widely distributed over the island with a varying but great thickness, and it sometimes attains to a thickness of about 1000 m.,<sup>20)</sup> and is inferred to be a torrential deposit during an unusually wet season.

#### D. TERRACE DEPOSITS

There are the deposits that form plateaus and terraces, less than 620 m. high above sea level, overlying the older rocks clino-unconformably (see Pl. V, Fig. 2). These are divided into "the lateritic terrace deposits" and the "new river terrace deposits". The former consists of gravel beds about 30 m. in the maximum thickness, overlain by a thin lateritic soil layer. They occupy the top of the higher hill, and are generally called "Plateau gravel".

The abundant stone impluments scattered on the surfaces of lateritic terraces at Kôroppei (公荖坪),<sup>21)</sup> Suiseisi (水井子),<sup>22)</sup> Suiteiryô (水底寮),<sup>23)</sup> etc. are perhaps sorted out from the lateritic soil through cultivation.<sup>24)</sup>

About the heavy mineral components of the lateritic soil in this area ICHIMURA has published a short paper.<sup>25)</sup>

"The new river terrace deposits" develop along flood plains of recent rivers and valleys, covering the river terraces lower than about 50 m. above recent river beds.

#### (C) A CONSIDERATION ON THE GEOLOGICAL AGE

Owing to the lack of index fossils, it is not as yet possible for me to decide the geological age of each of the series. However, the Syukkôkô series and the lower Tôkazan beds are important in this connection, because there are some, if not many, fossils indicating at least the very approximate age of their mother rocks.

---

20) K. TAN and T. RIN:—On the so-called Syokkôsan Beds (Japanese). Trans. Nat. His. Soc. Formosa, Vol. 24 (1934) P. 40.

21) 臺中州豐原郡豐原街上南坑字公荖坪

22) 臺中州東勢郡新社庄水井子

23) 臺中州東勢郡新社庄水底寮字墳山

24) I. HAYASAKA and T. RIN:—Materials for the Archaeology of Taiwan (Japanese). Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 5 (1934) P. 1.

25) T. ICHIMURA:—Mineral Components of Laterite obtained from Taityû and Sintiku Prefectures (Japanese) Taiwan Tigaku Kizi, Vol. 5 (1934) P. 32.

(I) The Syukkôkô series in this district approximately corresponds to the upper part of the Kaizan (海山) beds of YABE and HANZAWA.<sup>26)</sup> The Kaizan beds are rich in the remains of the so-called higher foraminifers and calcareous algae, namely *Lepidocyclina verbeeki* N. et H., *Miogypsina dehaartii* VLERK var. *formosensis* YABE et HANS., *Cycloclypeus communis* MART., *Lithothamnium ramosissimum* REUSS, etc. in the lower part; *Operculina bartchi* CUSH. var. *multiseptata* Y. et H., *Operculina* (*Operculinella*) *venosa* (F. et M.), etc. in the middle part, and *Operculinella venosa*, etc. in the upper part. And the lower part is regarded as Burdigalian by them: so the Syukkôkô series in this district may be later Miocene in age.

II) The lower Tôkazan beds yield remains of mammals that are similar to the so-called *Stegodon-Elephas* fauna, and may be regarded as to correspond to Calabrian-Cromerian of Europe. Consequently the age of the younger Tôkazan stage may be Cromerian or later; and the Toyohara series is thus roughly Pliocene in age.

#### (D) COLUMNAR SECTION

The stratigraphical succession of this district is more plainly represented by the columnar section given below (Text-fig. 1).

---

<sup>26)</sup> H. YABE and S. HANZAWA:—Tertiary Formation Rocks of Taiwan (Formosa). Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ. 2nd ser. (Geol.), Vol. XIV, No. 1.

AGE	FORMATION	COLUMNAR SECTION	MEAN THICK	LITHOLOGICAL CHARACTER	IMPORTANT FOSSILS	
PLIO-STOC	Alluvium, Talua		30 m	Sand, gravel, clay		
	New Riv. Terrace		30 m	Sand, gravel, clay		
	Laterite Terr.		30 m	Gravel, laterite soil		
TOKAZAN SERIES (PLIO-PLEISTOCENE)	Upper Tokazan Beds		More than 500 m	Conglomerate	KAENZAN REGION TOKAZAN REGION	
	Transition Beds		50 m 100 m	Sand, clay, gravel	Melanoides, Vola naposimmonsi, Arca kygonia, Ditropa	Corbicula, Unio
	Lower Tokazan Beds		900 m	Sandstone and shale in alternation, intercalating pebble bands	Ditropa, Flabellum, Heteropasma corbica alta, Echmarachus mirabilis, Arca kygonia, Macroculista pacifica, Glycymeris formosana, Vola hyosimmonsi, Amusium pleurochites	Stegodon aff. sinensis, Stegodon, Rhinoceros, Cervus, Ostrea cfr. gigas, Placenta placenta, Carcharodon, Corbicula†
TOYOHARA SERIES (PLIOCENE)	Takuran Group	Marine Fossil Beds	200 m	Sandstone and shale in alternation	Arca grossa	
		Plant Bed	80 m	Sandstone		
		Marine Fossil Beds	700 m	Sandstone and shale in alternation	Pholas, Turritella phola, Arca cornu	
		Ostrea Beds	350 m	Shaly sandstone with sandstone and shale in alternation	Ostrea cfr. gigas, Corbicula	
		Marine Fossil Beds	450 m	Sandstone and shale intercalating with sandstone	Arca grossa	
	Hitosan Group	Sandy Shale altern. with Sandstone	260 m	Sandy shale alternating with sandstone	Arca grossa, Arca aff. kygonia, Flabellum	
		Upper Sandy Shale	350 m	Sandy shale	Pholas, Arca sp. a, Cuvina sinensis, Clypeaster cfr. japonicus	Ditropa, Rotula archaolentana, Euryarcinus formosensis
		Shaly Sandstone	260 m	Shaly sandstone	Corbicula†	
		Lower Sandy Sh.	110 m	Sandy shale	Operculina venosa, Clementia nonscripta, Rapana bulbosa, Vola sp. a, Amusium sp. g	
	Kantō-san Gr.	Kantōsan Sandstone	350 m	Medium-grained glauconitic sandstone and coarse-grained quartz sandstone	Operculina (Operculinella) venosa, Pecten yabei	
SYUKKŌ SER. (MIOCENE)	Syukkō Beds			Sandstone and shale in alternation.		

(E) A CORRELATION TABLE

Up to the present our knowledge of Neogene Tertiary and Pleistocene of Taiwan is fragmentary, if not scanty, and it is impossible as yet to correlate exactly the different rock series of this area with those of the other districts.



The following is the correlation table of the stratigraphical units of this field and those of its vicinity.

Terrace Deposits	Terrace Deposits	Terrace Deposits	Terrace Deposits	Terrace Deposits	Pleistocene
Tōkazan Series Up. Tōkazan Beds Transition Beds Low. Tōkazan Beds Marine Fossil Beds Plant Fossil Beds Marine Fossil Beds Ostrea Beds Marine Fossil Beds Sandy Shale alt. with Sandstone Up. Sandy Shale Shaly Sandstone Low. Sandy Shale	Takuran Group Marine Fossil Beds Plant Fossil Beds Marine Fossil Beds Ostrea Beds Marine Fossil Beds Sandy Shale alt. with Sandstone Up. Sandy Shale Shaly Sandstone Low. Sandy Shale	Hitōsan Group Up. Sandy Shale Shaly Sandstone Low. Sandy Shale	Syukkōkō Series Kantōsan Sandstone Coarse-grained Quartz Sandstone Syukkōkō Beds	Dōra Beds Kōzan Beds Sandstone altern. with Conglomerate Kinsui sandstone Up. Series of Sandst. and Shale in Altern. Shale Low. Series of Sandst. and Shale in Altern. Sandstone Kinsui Shale Ketikurin Beds White Sandstone Syukkōkō Beds	Cromerian ↕ Calabrian  

### III. Topography

The district under consideration, as a whole, is topographically very young, consisting chiefly of rather low, but strongly dissected hilly lands, not quite 900 m. above sea level. The relief of the region is very much influenced by the lithological nature.

The rocks of Toyohara series and the lower Tôkazan beds are loose and soft, and commonly form hills lower than 600 m. These hills are strongly dissected so that the valleys filled up with recent alluvium, are everywhere well developed. Where the alternating series of hard and fragile beds are exposed, peculiar series of acute ridges forming crests of the structure called the "Hogbacks", develop here and there, owing to the differential resistance of the rock formation to abrasion. Very typical examples are seen near Kôriturin (校栗林), north of Takuran (see Fig. 1).

The conglomeratic upper Tôkazan beds assume a special erosional topography, "Kaenzan (flaming or burning hill)" as is called by the native signifying the very rugged and irregularly serrate profile of the eroded hills (see Fig. IV): these hills look like burning flames when they reflect morning or evening sun. "Kaenzan" in Byôritu county rises to 600 m., while "Tôkazan" in Daiton county attains 859 m. in height, consisting of the upper Tôkazan conglomerate.

The stratigraphical boundary between the Toyohara and the Syukkôkô series coincides with the topographical boundary between the lower and higher terrains. The Kantôsan sandstone is so hard that it forms a higher, steeper ridges and peaks sometimes more than 800 m. in height. River valleys are usually narrowed when they traverse the exposures of this hard series of rocks.

The lower hilly region in the west comes into contact with the plain which is a part of the so-called Taityû basin, along an almost straight line, which indicates the existence of dislocation limiting the eastern border of the upper Tôkazan conglomerate.

The Taikô-kei (大甲溪) and the Taian-kei (大安溪) are the two most important rivers within my field, having their sources in the backbone mountain range, running through the field under consideration and finally flowing into the Strait of Taiwan; they form typical fans at their estuaries. When these two rivers flow through the area of the harder Syukkôkô series or other older rocks the river beds are narrowed, forming gorges. But when they flow into the area of the soft rocks of the Toyohara series, they suddenly form broad flood plains, which sometimes attain to almost 3 km. in

breadth, as can be seen near Takuran.

Besides, there are many valleys carving the hilly area, forming gorges, falls and hanging valleys here and there. The rivers tend to form the longitudinal valleys in the area of the massive sandy shale (the upper and the lower sandy shale of Hitôsan group, etc.), and transverse valleys in the regions of alternating beds of sandstone and shale (the Takuran group and the lower Tôkazan beds), excepting where they are influenced by the existence of faults.

There are several terraces of a large extension on the sides of the rivers, the Taikô-kei and the Taian-kei, ranging from the highest one which is 620 m. above sea level down to those that are only several meters above the recent flood plains.

Along the course of the Taikô-kei we can recognize terraces with respective heights of 620 m. (I), 580 m. (II), 550 m.-535 m. (III), 520 m.-490 m. (IV), 545 m.-395 m. (V), 550 m.-450 m. (VI), 510 m.-450 m. (VII), 460 m.-361 m. (VIII), 430 m.-280 m. (IX); there are several more terraces, that are lower than 20 m. from the present river beds (X-).

The inclination of the surface of these terraces, excepting No. 1, corresponds wholly to that of the recent river beds of the Taikô-kei, dipping northward in the northwardly draining area (from Maanryô to Tôsei), and westward in the westwardly draining area (from Tôsei to estuary). No tectonic movement can be recognized among these terraces. So these terraces may be regarded as older flood plains of the Taikô-kei.

The terrace No. 1 is the highest lateritic terrace in the island hitherto known. The surface of it is almost horizontal, and this is hardly regarded as of the same significance as the other lower terraces in the field.

Along the course of the Taian-kei, there are also several terraces with heights of 550 m.-540 m., 470 m.-400 m., etc., on the right bank. These also may be regarded as the terraces, formed by the Taian-kei.

(March 20, 1934)

## **PLATE IV**

### **Explanation of Plate IV.**

**Fig. 1.** A remarkable example of the “Hogbacks” structure on a large scale  
Viewed from west, from Koriturin, Taiko county, Sintiku Prefecture





# **PLATE V**



### **Explanation of Plate V.**

- Fig. 1 A distant view of Kaenzan, a characteristic topography of the Upper Tókazan Conglomerate, at Kaenzan, Byōritu county, Sintiku Prefecture.
- Fig. 2. Unconformity between the Lateritic Terrace Deposits ("Plateau gravel") and the underlying strata, near Suisei, Tōsei county, Taityû Prefecture (Photo. by Prof. HAYASAKA).

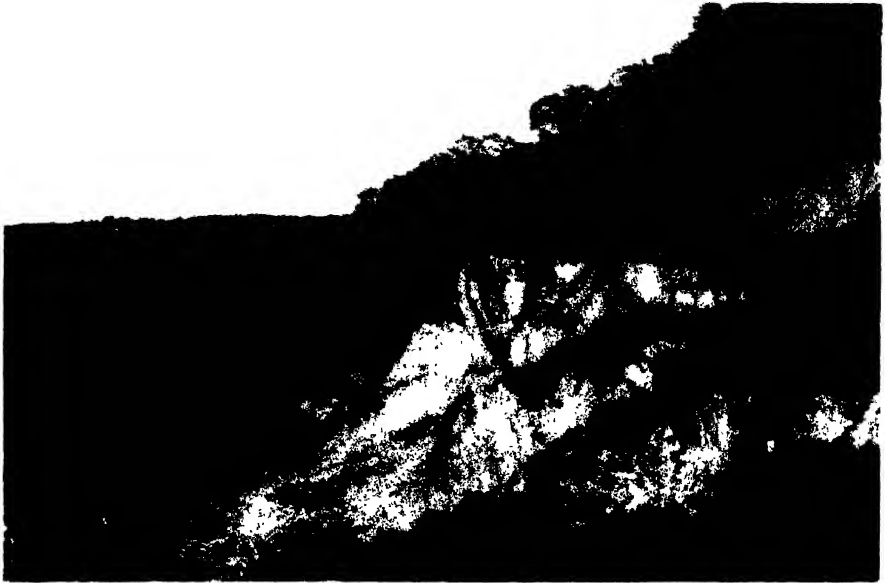




## **PLATE VI**

### **Explanation of Plate VI.**

- Fig. 1. The boundary of the Upper Tókazan Beds and the Transition Beds near Tókazan Syncline axis at the upper course of the Taikô, i.e., the NW side of Tókazan. (Photo. by Prof. HAYASAKA).
- Fig. 2. The Taimaho reversed fault at the upper course of the Tôbenkô, Daiton county, Taityû Prefecture. (Photo. by Prof. HAYASAKA).





## **PLATE VII**



## Explanation of Plate VII.

(All the figures are in natural size)

- Fig. 1. A hand specimen of a sandstone with *Operculina* (*Operculinella*) *venosa* (F. et M.), belonging to the series of the Kantôsan Sandstone at Nanhikô (軟埤坑), near Taimaho, Tôsei county, Taityû Prefecture.
- Fig. 2. A hand specimen of the *Ditrupa* rock, belonging to the Lower Sandy Shale of the Hitôsan Group at 800 m. west of Maanryô (馬鞍寮), depôt of the hand car line Tôsei county, Taityû Prefecture.





# PHYSIOGRAPHICAL DEVELOPMENT OF HOMOCLINAL RIDGES: AN EXAMPLE IN TAIWAN.

(With 9 Text-Figures and Plates VIII-X)

Yosirô TOMITA.

(Accepted for publication, September 10, 1934)

## I. Introduction.

It is generally recognized that the topographical features of Taiwan in the course of the normal cycle of erosion have certain characteristics that distinguish themselves from those that are popular in Japan proper. It is these characteristic features which have to be considered as rather ordinary in the tropical region owing mainly to the fluvial agency which is controlled by a particular climatic condition. Among those characteristic features homoclinal ridges or hog backs<sup>1), 2)</sup> of normal cycle which are found quite well developed and widely distributed in the hilly land throughout the island may be regarded as one of the most striking. Strictly speaking homoclinal ridges or hog backs are not features merely due to fluvial erosion, but they owe their existence also to a particular geological structures and lithical characters as well.

In Taiwan, homoclinal ridges are well developed on the one hand, in the dissected flanks of folding mountain ranges, being arranged in a narrow zone, but they are also recognized in a wider zone of a hilly land consisting of a gently dipping younger Tertiary formation which has an isoclinal structure. In either case the homoclinal ridges are composed of thin alternating beds of hard and soft strata that are unequally resistant against the erosive agencies.

The port of Kiirun with its immediate neighbourhood, presents a good example of a wide homoclinal ridge zone, although this region, because it belongs to a fortified zone, can not be taken up for a detailed consideration of the characteristic landscape; either mapping or sketching being strictly forbidden.

Another good example of this category is the series of homoclinal ridges in the southern part of Taiko (大湖) County, Sintiku Prefecture:

this region very much resembles Kiirun region in every respect. The present writer, therefore, attempts to describe this latter region and to explain the topographical development as has been brought about by the erosive agencies prevalent in this region.

## II. Brief Description of the Taiko Homoclinal Ridges.

The homoclinal ridges are met with in a hilly land which has a roughly triangular outline, (Text-figs. 1 and 2) with sides about 6 km. in length; the highest land surface being measured 300 m to 500 m above sea level. The east and northwest edges of the triangle are bounded by lofty mountain ranges, the eastern being the Manapan range, a gigantic homoclinal ridge, with the maximum elevation of 1400 m at the main peak of Manapan-san (馬那邦山); the lower margin of the western slope of this range coincides with the easternmost homoclinal ridge of this tract. The northwestern edge is the Kwantō mountain mass, of which the highest peak (888 m) lies on the homoclinal ridge of Kwantō-san (關刀山).

This ridge is limited on the west by a fault line (Sinkai 新開 fault), which is quite manifested also as a topographical divide (Text-figs. 2 and 4). The other, southwest side is bordered by a table land of Takuran (卓蘭), about 450 m in elevation, with a flat surface extending from east to west (Text-fig. 3, c.). Farther south this table land extends down to the broad flood plain of the Taian-kei (大安溪) (Text-fig. 3, b.).

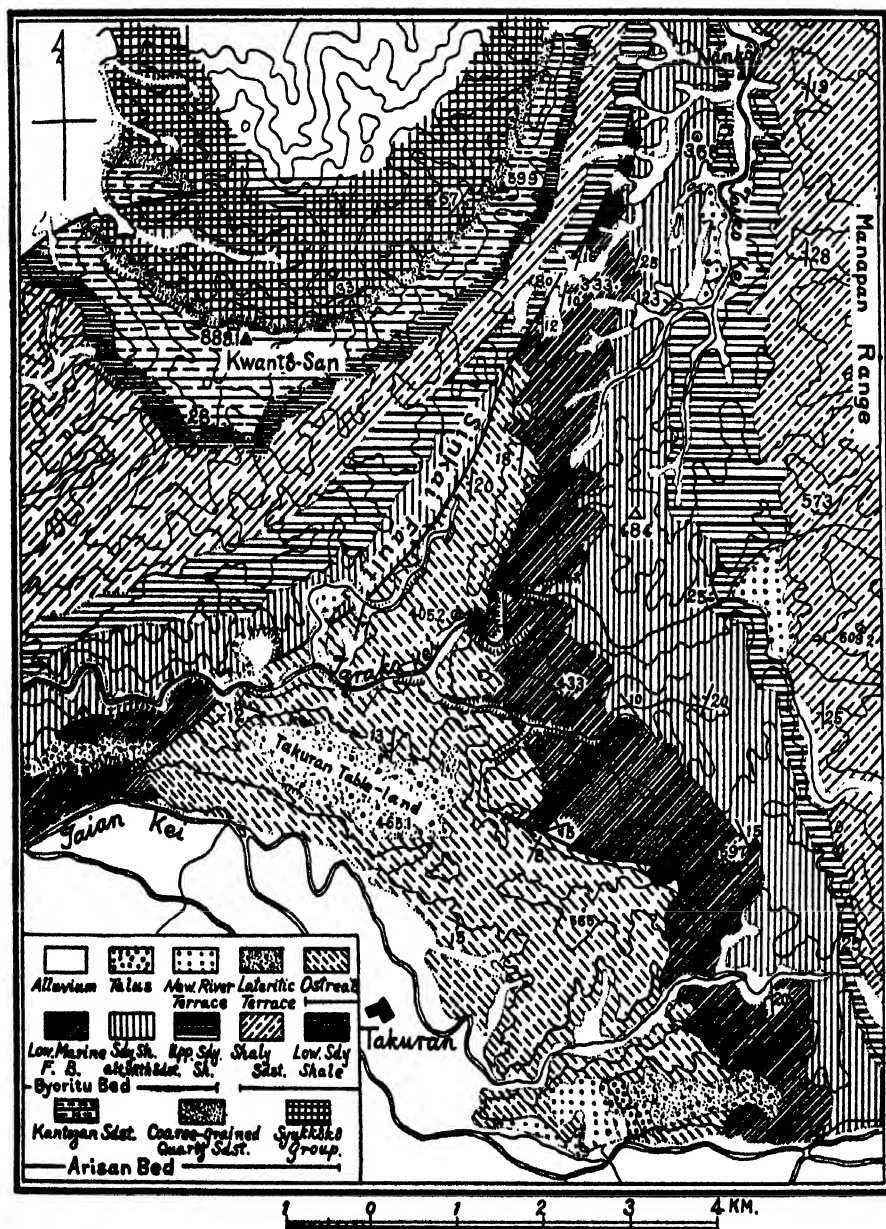
There are two systems of drainage in this tract: the one is that of the Taiko-kei (大湖溪) in the eastern part flowing from south to north as subsequent valleys; the other is of the Taroko-kei (多羅囉溪), extending almost over this tract, with valleys running from east to west as consequent valleys, traversing homoclinal ridges forming deep gorges; some of its tributaries are subsequent, however.

The geology of the triangular tract is made of the younger Tertiary formations, the so-called *Byōritu* (苗栗) *Bed* (upper) and *Arisan* (阿里山) *Bed* (lower). Both these Beds are alternating series of beds of sandstone, sandy shale and shale that are not thick: they form a typical isoclinal structure as we see here and there. The general strike of these strata is NE-SW, dipping about 20° toward NW (Text-fig. 2). This tract makes a portion of RIN's very detailed geological survey; the writer greatly owes his knowledge of this area to RIN.

Of the homoclinal ridges we may be able to distinguish five rows (Text-fig. 1 and 5, a, b, c, d, e.), the crest lines of these ridges extending NE-SW in the western part of this tract, gradually deviating to N-S in



Text-fig. 1. Topographical map of the southern part of Taiko County, Sintiku Prefecture. (reduced from the topographical maps, *Sansa* and *Tosai* (1:25,000) issued by the Military Staff.)



Text-fig. 2. Geological map of the southern part of Taiko County, modified from Mr. RIN's field map.



Text-fig. 3. A sketch of the Takuran table-land and its vicinity. a- village of Takuran, b- the Taian-kei, c- Takuran table-land, d- the Taroko-kei.

the eastern part. The western rows (Text-figs. 1 and 5, a, b.) and the easternmost row (Text-figs. 1 and 5, e.) are well developed but the intermediate rows (Text-figs. 1 and 5, c, d.) do not show prolonged linear crest lines, but they only form some irregular groups of narrow homoclinal ridges. The gentle dip slope faces westward and its inclination coincides with the dip of the hard resistant strata, the so-called "cliff maker"; escarpment is facing eastward with bluff of one hundred meters or thereabouts in height. The rôle of the "cliff makers" is played by the beds of sandstone or sandy shale at various horizons of the stratigraphical sequence.

These ridges are generally even, so that the main local roads run upon them (Pl. VIII). These ridges once served as fortification lines (*Aiyû lines*) against the attack of the savages who had been the occupants of the central mountain territories of Taiwan. About thirty years ago the fortification line in this region was removed forward to the crest line of Manapan Range, so that this region was saved from the aggression of the savage aborigines. This very topographical features may, even at present, be considered as having some important meaning from the point of view of strategy.

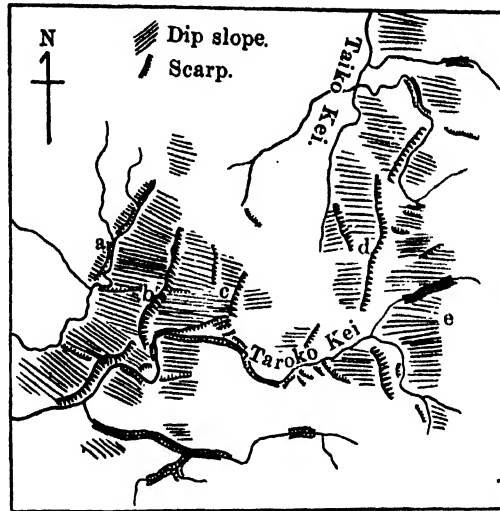
Beside the above-mentioned main set of escarpments, there is another set of escarpments traversing the surface of the dip slopes of the former in right angle to their crest-lines: these escarpments face either to north or to south, being a few score of meters high but being generally lower than the main set. They are well developed in the tracts of homoclinal ridges in the southwestern part of the region under consideration, namely, in the downstream the river system of the Taroko-kei (Text-figs. 1 and 5, a, b, c.). These escarpments seem to have been produced by the erosion of the consequent rivulets draining the respective dip slopes.





Text-fig. 4. A bird's-eye view sketch of the homoclinal ridges, looking north from Kōriturin in the southwestern part of this district.

a, b, c and e represent the rows of the homoclinal ridges, and that of d is behind c's back.  
f, f, f represent each of the points along the Sinkai fault-line.



Text-fig. 5. A sketch map of the homoclinal ridges of the southern part of Taiko County.

a, b, c, d and e represent the rows of the homoclinal ridges.

The dip slopes of these homoclinal ridges are the inclined surface of the cliff makers that are relatively resistant sandstones or sandy shales. These inclined surfaces are almost even but are sculptured slightly by shallow and narrow consequent rivulets that are usually dry, except in cases of heavy rains when torrential flows find their way in them. The covering of soil on the surface of dip slopes is in general a reddish-brown sandy loam which is chiefly the autochthonous weathering product of the cliff maker, its thickness is usually about 1 meter or less, occasionally showing the trace of the original bedding of the more resistant rock of the cliff maker. Gravel is very scarce on the dip slopes, except in the immediate neighbourhood of the foot of the escarpments. Two types of agricultural cultivations are carried on upon this dip-slope land, corresponding to the difference in the water supply conditions: namely, there are dry fields in the upper or higher part, and wet terraced rice fields in the lower. There are, however, areas that are yet left untouched as grass land because of the devastating effects of the heavy rains that occur from time to time. On the dip slopes, there are farmhouses sparsely scattered, each house being encircled with a bamboo hedge. These farmhouses are the abode of tenant farmers, although they may look something like the so-called homestead (*Einzelhof*) (Text-figs. 1 and 4, Pl. IX, Figs. 1, 2, Pl. X, Fig. 1.).

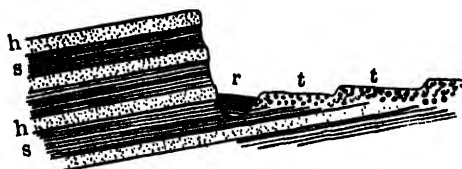
### III. Principal Agencies for the Formation of the Homoclinal Ridges.

In this chapter the writer attempts to account for the agency (process) of erosion for establishing the topographical feature under consideration on the one hand, and for the process of the homoclinal shifting<sup>3)</sup> on the other. For the establishment of the characteristic topography the fluvial erosion of the Taroko-kei and the Taiko-kei, both draining this area, alone may be worth while being considered as effective; there is hardly any tectonic disturbance which could have been the cause of this topography. Among the streams belonging to the drainage systems of these two rivers can be distinguished two types with respect to erosive agency. The one is the type of torrential nature of temporary existence due to heavy tropical showers; the river bed is generally shallow and broad and usually almost without water except a small gully in it (Pl. X, Fig. 2). The other type is of the ever-flowing streams with a moderate amount of water supplied by a lasting source or by a more extensive drainage area; the streams of this type flow in narrow, deep and meandering valleys. As for erosive agency, the former type of streams work more strongly to widen the valleys than to deepen them, a greater amount of water rushing in a short time accompanied by an inundation or a shifting of stream course. On the contrary, the second type of streams erodes more strongly downward than laterally even in cases of heavy showers, the streams persisting in their courses without shifting.

The most decisive factor for the formation of homoclinal ridges appears to be the streams that are subsequent to the topography flowing on the gentle dip slope along the foot of the steep escarpment. Moreover, the fluvial agency is predominantly a side erosion, owing to the above-mentioned temporary torrential streams caused by the heavy tropical showers that are characteristic of the rain fall in the long summer season of the island. These torrential streams, washing down over the broad and shallow stream beds on the surface of dip slopes with their pronounced side erosion, attack the foot of the escarpments and compel them to retreat summer after summer. This is what is called the homoclinal shifting: it will be illustrated in detail in the following chapter.

On the other hand, the permanent streams that result in a pronounced bottom erosion along their courses, will cut down the dip slope and will thereby prevent the homoclinal shifting, even if the foot of the escarpments would be attacked by their meandering courses: but by such meanderings, there will be made on the side of the stream opposite the escarp-

ment some river terraces in the slip side of the meanders, because the dip slopes are supplied with much greater amount of drifting waste than the torrential streams referred to above (Text-fig. 6).



Text-fig. 6. A valley profile produced mainly by the bottom erosion of a permanent stream upon variously resistant strata.

h- hard bed, s- soft bed, r- permanent stream, t- river terrace.

There are in the region under consideration some permanent subsequent streams that flow along the sharp valleys between the escarpments and the dip slopes: they are, *par example*, a tributary of the Taroko-kei in the western end and an upper main stream of the Taiko-kei in the eastern end of this region. They may not seem at present to do anything either for the formation of the homoclinal ridges or for compelling homoclinal shifting, because they have their erosive power not only in cutting down the dip slopes with their pronounced bottom erosion. It is certain, however, that in the past, in a recent geological time, they possessed the temporary torrential nature having the power of lateral erosion. This change of the nature of the streams would be attributed to the river piracy which might have taken place during the process of homoclinal shifting: consequently these rivers may be altered to permanent flows as the result of the forthcoming increase of water amount due to the expansion of the drainage area through piracy.

However, there is another side of the physiographical process which draws our attention; namely, the process of weathering itself takes place, to some measure, to keep the characteristic feature in the topography. In the tropical or subtropical island of Taiwan, the weathering process is almost free from frost action throughout the year except in rare occasions and beside the mountain regions above about a thousand meters. If the land surface would subject to the frost action as long a duration as in the temperate regions every year, the sharp edge of the escarpments composed of such a grade of resistance of the cliff makers would be easily worn out, and there may appear some accumulation topography due to the great amount of waste produced by the vigorous disintegration in the frost

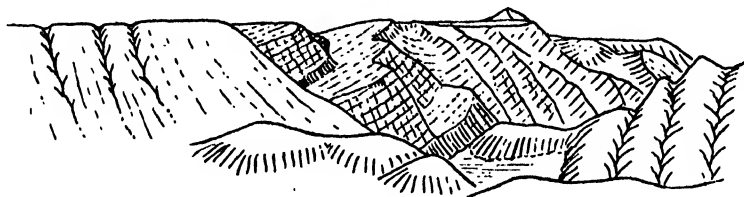
action, and thus the subdued topography would be soon accomplished even while the homoclinal shifting is in action.

#### IV. The Process of the Formation of the Homoclinal Ridges.

It may be said, as a matter of fact, that the topographical feature of this tract, as a whole, is a dissected hilly land, and, moreover, that there are signs of the rejuvenation in fluvial erosion throughout this area caused by the recent upheaval, as is shown by the incised meanders and deep gorges observed in the course of the Taroko-kei. However, there are still remnants of uneroded flat topped table-lands retaining the initial form, in the southern part of this tract: these table-lands may be regarded as remnants of a terrace formed by the Taian-kei (大安溪) in a former period. Among these table-lands, the Takuran table-land (Text-fig. 3) occupies the widest area and has an oblong flat surface, 450–470 m above sea-level. The upper part of this table-land is covered by a gravel bed of 30–40 m in thickness, accompanied on the top of a characteristic red earth, about 1 m thick. The gravel bed rests upon the inclined foundation strata which is composed of the alternating series of shale, sandy shale and sandstone. The contact plane of the gravel bed and the foundation rock appears to be flat and nearly horizontal: it is no doubt an abrasion plane of the foundation rocks.

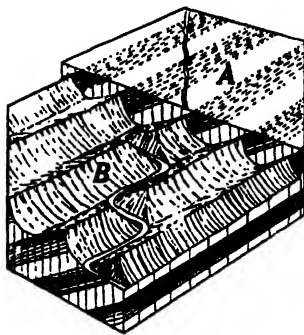
The flat surfaces of the table-lands and the flat abrasion plane beneath the former, should be regarded as the most important data for the explanation of the process of the formation of the homoclinal ridges. These table-lands are rather more restricted in distribution as well as their area, but during the period preceding to the present fluvial rejuvenation it may well be inferred with certainty that they have spread over almost all of the area under consideration, accompanied by the abrasion plane of the foundation strata beneath. The abrasion plane might not have been a peneplain, but it appears to have been a plane of the fluvial baselevel, having some slight undulations as we really observe here and there. The fluvial baselevels would have been formed as rock terraces of preexisting river systems as are shown in various parts throughout Taiwan at present. Upon such baselevel planes developed along the river courses, an accumulation of a gravel bed took place in response to some special physiographical condition of the central back bone ridge region in the interior, and as well as to some special climatic condition as will be explained in detail in another occasion. After the accumulation of gravel bed the general upheaval of the land took place resulting the present activity of the river rejuvenation. The

process of the rejuvenation of fluvial erosion, combined with the climatic changes, geological structures and lithological characters mentioned in the preceding chapter, accentuated the process of homoclinal shifting. As the consequence of this shifting, somewhat regular arrangement of the homoclinal ridges now observed had been brought out. Moreover, there is a feature which interests the writer; a feature, it seems to him from which the explanation of the process of the topographical development is expected. There is a somewhat dissected table-land which is likely a western continuation of the Takuran table-land, although it is separated from the latter by the Sinkai fault line. Upon this western table-land there still remains a flat abrasion surface without any massive gravel bed corresponding to that covering the Takuran table-land (Text-fig. 7). This feature may be accepted as a good example of an early stage of the homoclinal shifting that was in operation on the flat abrasion plane in the second cycle of erosion.



Text-fig. 7. A sketch of somewhat dissected table-land to the west of the Takuran table-land. The western end of the Takuran table-land to the left: in the middle are seen the inclined (about  $30^{\circ}$  to SW) Tertiary strata truncated by the flat abrasion plane, showing an initial stage of the formation of homoclinal ridges.

The formation of the fluvial baselevel in the previous period can well be recognized by the fact that the crests of the homoclinal ridges in this region are almost equal in height, even though the migration of crest-lines had taken place to some extent. Moreover, wider distribution of the gravel table-land throughout the whole area at a certain previous period can also be reasonably explained in regarding that the consequent course of the Taroko-kei which traverses several homoclinal ridges by gorges had been determined by a superposed river,<sup>4)</sup> and that its zigzag course might have been produced as a stage of the homoclinal shifting, as COTTON has shown in a diagram<sup>5)</sup> in his book (Text-fig. 8) upon two cycles of erosion. Unfortunately, however, the writer has not yet found any remains of the gravel bed which might have covered the table-land throughout this tract: the only exception is the crest part of a homoclinal ridge at Kōriturin (校栗林) about 1 km. to the north of the northern end of the Takuran

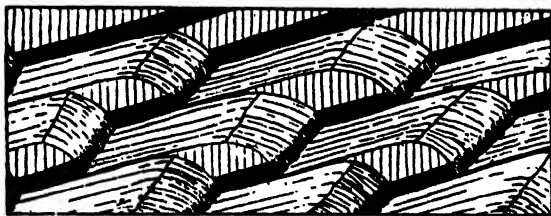


After COTTON.

Text-fig. 8. "Diagram of the development of a zigzag course of homoclinal shifting." (COTTON)

table-land. The writer assumes, therefore, that the most part of the remains of the gravel bed might have been washed away during the homoclinal shifting.

The homoclinal shifting as described and explained above, is very thoroughly illustrated by COTTON in the following lines:—"Erosion is very slow on the gentle dip slope of resistant rock; but on the steeper obsequent slope, or escarpment, it is rapid. The divide formed by the crest-line of the cuesta or homoclinal ridge is thus forced to migrate toward the dip, and as the general level of the surface is lowered the subsequent streams and the valley lowlands migrate also in the same direction. The process is termed *homoclinal shifting*. Obviously the rapidity and extent of migration are greater in the case of gently inclined than in the case of steep strata."<sup>6</sup> However, the rapidity of the migration of the crest-lines of homoclinal ridges that are arranged in parallel series can not be assumed as similar to that of the homoclinal shifting as was shown by COTTON in a diagram illustrating homoclinal shifting,<sup>7</sup> (Text-fig. 9). The power



After COTTON.

Text-fig. 9. "Diagram illustrating homoclinal shifting. Divides and streams are shifting to the left, down the dip. Three stages are shown, of which that in the front is the latest." (COTTON)

of driving homoclinal shifting naturally differ in different subsequent streams, but the speed of migration must be greater downstream than upstream even when the gradient is similar in both. In the area under consideration, the western is the downstream region and the eastern, the upstream region of the Taroko-kei system, and the breadth of the dip slope surface of the western homoclinal ridges are narrower than that of the eastern ones. These differences might have resulted from that the erosion in the western crest-line had been more accelerated than that in the eastern, according to the difference in the eroding power in the upstream and downstream regions. In fact, it may be assumed that the dissimilarity of the migration rapidity of the crest-line in the shifting, as explained here, must be a general rule, the similarity of rapidity being rather exceptional, if there is any example.

In closing the consideration of the process of the topographical development of homoclinal ridges, the writer recalls the opinions of several authorities dealing with certain resembling features of topography. First of all, R. GRADMANN's paper<sup>8)</sup> on the "Stufenlandschaft" in southern Germany is attractive. In this paper the author enumerates several opinions that had been advanced to illustrate the process of the topographical development something like that herein considered. Among the theories reviewed, the writer is inclined to accept that of DAVIS (the "two cycle theory") the explanation by which seems to hold exactly good in the case described in this paper.<sup>9) 10)</sup>

## V. Conclusion and Summary.

There is an area which is characterized by a topographical feature comparable with the so-called *Stufenlandschaft* in the southern part of Taiko County, Sintiku Prefecture, Taiwan. Geologically this tract is composed of the repeated sequence of beds of hard sandstone, sandy shale and soft shale, of the later Tertiary formation which as a whole has a somewhat regular isoclinal structure, being inclined  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$  toward west.

The writer calls this topographical feature as consisting in a series of homoclinal ridges, according to COTTON's classification, and he has given an explanation that this feature was produced principally by the fluvial erosion of the Taroko-kei and the Taiko-kei that had been draining over this area in a way called the homoclinal shifting, being accentuated by these rivers as well as by the lithical characters and the geological structure. With regard to the agency of river erosion, two types of streams have been distinguished, the one comprising the permanent streams and the other, the



temporary torrential streams. The latter group plays the most important part in producing this characteristic topographical feature. The streams of this type flow, for a short time, with a great amount of water only at the time of heavy tropical showers. The river bed is generally shallow and broad, and is as a whole dry, except a small brooklet. Such torrential streams work a great deal of the side erosion by the to-and-fro shifting of the stream course, far surpassing the bottom erosion. Thus, the most essential agency producing this peculiar feature should be attributed to the side erosion of the stream of this type.

For the illustration of the process of topographical development, the writer applied the theory of "the two cycles of erosion". In the southern border of the area under consideration there exist several gravel covered table-lands, the gravel bed lying unconformably on the flat eroded surface of the underlying Tertiary strata. The writer concludes that this unconformity surface is an abrasion plane, and assumes that the gravel-covered table-lands and the abrasion plane that are now rather restricted to a narrow area has been extended much more widely throughout this tract during the preceding period than at present. This abrasion plane might have been a fluvial baselevel. When the fluvial baselevelling had advanced a great deal, the deposition of the gravel bed upon it took place. Then there was a general upheaval of the land, accompanying the fluvial rejuvenation. By this rejuvenation, the gravel bed has been eroded away from a greater part of the area, but the consequent stream of the Taroko-kei, traversing escarpments by gorges seems to have developed as a superposed valley under the control of the very gravel bed.

The writer takes this opportunity to express his sincere thanks to Professor I. HAYASAKA for his valuable advice in various ways in preparing this paper. The writer is also indebted to Mr. RIN for the loan of his elaborate geological field map.

### References and Notes.

- 1) HAYASAKA, I.:—Explanation to Plate I ("Hog backs" structure). Taiwan Tigaku Syasinsyū. (Geological Photographs of Taiwan.) Vol. I. (1930).
- 2) COTTON, C. A.:—Geomorphology of New Zealand, Part I, Systematic, pp. 88-93, (1926).
- 3) COTTON, C. A.:—op. cit., pp. 97-98.
- 4) EMMONS, S. F.:—Uinta Mountains. Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 18, p. 301, (1907).
- 5) COTTON, C. A.:—op. cit., p. 98, Fig. 96.
- 6) COTTON, C. A.:—op. cit., p. 97.
- 7) COTTON, C. A.:—loc. cit., Fig. 95.

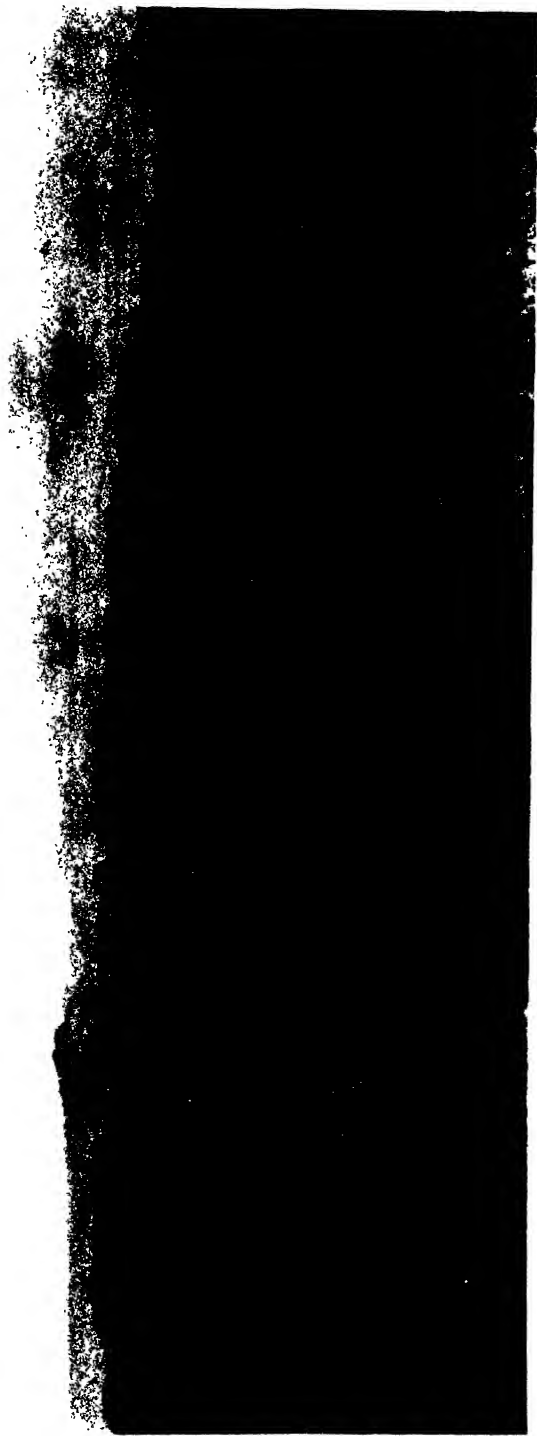
- 8) GOLDMANN, R.:—Das Schichtstufenland. Zeitschr. Gesell. Erdk. Berlin, SS. 113–139, (1919).
  - 9) DAVIS, W. M.:—The Development of Certain English Rivers. Geogr. Jour. Vol. V, pp. 127–146, (1895).
  - 10) RECK, H.:—Die morphologische Entwicklung der süddeutschen Schichtstufenlandschaft im Sinne der DAVISSchen Zyklustheorie. Zeitschr. Deut. Geol. Gesell. Bd. 64, SS. 81–232, (1912).
-



## **PLATE VIII.**

### **Explanation of Plate VIII.**

A view looking west from the homoclinal ridge (e). The flat-topped crest-lines of the homoclinal ridges (b) and (c) are well shown by the trees arrayed along the roads on the ridges, that look like black, slightly sinuous lines in front of the mountain mass in the back ground. The back ground is Kwantô mountain mass, the highest peak being Kwantô-san, a gigantic homoclinal ridge. In the left is seen Takuran table-land





**PLATE IX.**



### **Explanation of Plate IX.**

Fig. 1. Dip slope of the homoclinal ridge (c). The valley at the back right corner is the transverse gorge of the Taroko-kei, the cliff in the front left runs perpendicular to the main escarpment. Agricultural cultivation carried on in the form of dry field on the higher part (back in the picture), and terraced rice field on the lower (front) part of the slope.

Fig. 2. Dip slope of the homoclinal ridge (c). The landscape of the Agricultural cultivation is quite similar to that in Fig. 1.





## **PLATE X.**

### **Explanation of Plate X.**

- Fig. 1. A part of the dip slope of the homoclinal ridge (b) in the front, and the narrow dip slope of (a) in the middle, Kwantô mountain mass in the back ground. Along the boundary between the mountain mass and the dip slope of the homoclinal ridge (a) runs the Sinkai fault line marking a fair topographical divide.
- Fig. 2. The floor of the consequent valley of a temporary torrential stream on the dip slope of the homoclinal ridge (c), greater part of the broad and shallow valley floor being dry, except a brooklet flowing in a narrow ditch in the ordinary time. The foot of an escarpment to the left, and an uncultivated grass land to the right.





# ON SOME NORTH AMERICAN SPECIES OF LITHOSTROTIONELLA

(With Plates XI–XVIII)

Ichirô HAYASAKA

(Accepted for publication, June 25, 1936)

## I. Introduction

During my short stay, in 1927, in Washington D. C., U. S. A., I spent most of my time in the United States Geological Survey, extending my study on Palaeozoic corals to a few North American Carboniferous forms. This privilege, I was given by the Director of the United States Geological Survey, through the kind offers of Dr. G. H. Girty. I was allowed to examine any specimen I liked, and to take any book I needed from that comprehensive library. The work was carried out in Dr. Girty's laboratory under his suggestions and advice: his private library also was placed at my disposal.

What interested me most in this short course of research was the existence in North America of the genus *Lithostrotionella* Yabe and Hayasaka, which was established a few years previously in the Carboniferous corals of the Orient. This genus is represented by quite a numerous species in the Mississippian faunas of North America. These corals are, in appearance, like both *Lonsdaleia* and *Lithostrotion*, and have been called by either of these generic names, but in reality, are neither. In this paper these North American species of *Lithostrotionella* are described.

Although the description of these corals was ready before my stay in the United States came to an end, the manuscripts had not been completed, because a number of pictures of representative specimens described as well as of their thin sections had yet to be made.



Moreover, the details of the localities of the specimens recorded were not known to me, because they were mostly noted on labels in abbreviations. The most tedious parts of the work were all left to Dr. GIRTY's busy hands, who subsequently was kind enough to waste his valuable time on these trifling tasks.

After much hesitation and delay, due to certain causes, this paper is now published in this form by permission of the Director of the United States Geological Survey, for which I am indebted again to Dr. GIRTY. I have no words to express my very deep gratitude to him for his kind assistance in this little work. Thanks are due to the Director of the United States Geological Survey who generously favoured me with the privilege of studying the Geological Survey materials and of publishing the results in Taiwan. I also very much appreciate Dr. BASSLER's kindness in allowing me to examine a number of Carboniferous corals of North America, Australia and Europe, not to say of many other interesting and important paleontological materials in the collection of the National Museum.

All the specimens, types and others, mentioned in this paper are, of course, deposited in the collection of the United States Geological Survey. During the intervening ten years, there may have been a great advance in the knowledge both of the forms and occurrences of the coral group under consideration. Our knowledge of North American *Lithostrotionella* cannot be said complete without taking them into consideration, but this is far beyond me at the present however.

## II. Diagnosis of the Genus

*Lithostrotionella* was defined by YABE and HAYASAKA in 1915 in the following words:—"Corallum composite, massive, composed of prismatic corallites with lamellar columella; distinguished from *Lithostrotion* by having a vesiculated peripheral zone, well bounded by an inner wall, the inside of which has essentially the same structure with *Lithostrotion*. The septa protruding out of the inner wall

soon disappear in the vesiculated zone, without extending to the wall."<sup>1)</sup>

Among the many corals of the *Lithostrotion-Lonsdaleia* group examined we found one peculiar form which, in appearance, is comparable with the typical forms of *Lonsdaleia*, but has characteristic *Lithostrotion*-structure internally, as seen in the thin sections. *Lithostrotion* is described as having septa that are connected at their outer ends with the wall of corallites. This and the other characteristic features of the genus were briefly but comprehensively summarized by VAUGHAN in 1905.<sup>2)</sup> For the sake of a better understanding of the discussions as well as of the descriptions to follow, VAUGHAN's summary is quoted below :

1. Well-spaced, alternate septa, all of which extend to the wall ; all the septa are of nearly-equal thickness, and each septum varies very little in thickness along its length.

2. An external vesicular area in a horizontal section. This area forms a ring, of uniform width, within the wall ; it is radiated by both longer and shorter septa, and the interseptal spaces are each occupied by one or more vesicles ; the inner boundary forms the inner wall of the corallites.

3. The tabulae are conical or gently dome-shaped, without any definite fossular depression ; the septa extend inwards, for a greater or less distance, along the upper faces of the tabulae.

4. From the center of each tabula, an erect, laterally-compressed columella projects upwards, and usually reaches the tabula immediately above.

More recently, BENSON and SMITH, after having examined some Australian forms of the genus *Lithostrotion*, observed that the septa in them as a whole have a tendency to become discontinuous with the wall, and that in this feature the Australian forms differ from the

- 1 Palaeoz. Corals from Japan, Korea and China. Jour. Geol. Soc. Tokyo, Vol. 22, p. 94. *L. unicum*, a Chinese upper Carboniferous form is the only species described then : it differs from all the North American species described in this paper, so that it will not be taken into account in this study.
- 2) The Palaeontological Sequence in the Carboniferous Limestone of the Bristol Area. Quart. Jour. Geol. Soc. London. Vol. 61, p. 277.

corresponding European species.<sup>1)</sup> This means that the typical European *Lithostrotion* has complete septa, in contrast to the incomplete ones, so to say, as developed in *Lonsdaleia*.

The kindness of BASSLER has enabled me to examine some Carboniferous corals in the National Museum. Among them there are two European species that are worthy of note here. One is *Lithostrotion basaltiforme* from the northwestern part of England,<sup>2)</sup> and the other is *Lithostrotion portlocki* from Fimansk, Russia.<sup>3)</sup> In both of them septa are developed typically, and found united to the wall of corallites.

From these facts we can understand how the septa of *Lithostrotion* are formed, and at the same time, how different is the structure of *Lithostrotionella*.

### III. Relations of *Lithostrotionella* with allied Forms.

VAUGHAN mentions in his paper cited above four modified forms of the genus *Lithostrotion*: they differ from the typical forms of the genus in some structural features. Of these four modified forms, the "*Lonsdaleia*-like modification" is the most important here, because in this type the "septae are inconspicuous near the wall, and there is a peripheral area which is almost entirely vesicular."

The Australian forms, following the characterization quoted from BENSON and SMITH, may well be regarded as another case of a similar development.

Thus, we are likely to think that the systematic position of *Lithostrotionella* is an extremely unstable one, its characteristic structure being only an insignificant modification of that of *Lithostrotion*. On examining the thin sections of *Lithostrotion stanvellenae*<sup>4)</sup> and

1) On Rugose Corals from the Burindi Series. Q. J. Geol. Soc. London. Vol. 79, pt. 2, p. 167, 1923.

2) Specimen No. 70572. Determined by Stanley SMITH.

3) Specimen No. 63318.

4) ETHERIDGE, fil.:—Corals from the Coral Limestone of Lion Creek, & c. Bull. 12, Queensland Geol. Surv. p. 20, pl. I, figs. 5; pl. II, fig. 7, 8, 1900. See also BENSON and SMITH:—*op. cit.*

*L. arundineum*<sup>1)</sup> from Queensland in the National Museum, I could observe that the septa tend to become more or less indistinct on approaching the wall, but in neither species this tendency is shown better than in ETHERIDGE's figure 5, pl. 2 (*L. columnare*). ETHERIDGE remarks that this figure represents part of a corallum of which the other part has a normal *Lithostrotion* structure.<sup>2)</sup> The *Lithostrotionella* structure seems to have been derived from the *Lithostrotion* structure. In theory therefore, *Lithostrotionella* need not be separated from *Lithostrotion* as belonging to anything like a different genus. This opinion is supported by the fact that MILNE-EDWARDS and HAIME described the septa of *Lithostrotion* to be "subvesicular exteriorly."<sup>3)</sup>

In the development of the columella in *Lonsdaleia*, "the medial plate" as it is called by SMITH,<sup>4)</sup> alone occupies the position of the columella in the early stages. Later on, by developing "septal lamellae" and "axial tabellae," the characteristic *Lonsdaleia* columella, or "the central column" is completed. The columella of *Lithostrotion* as well as that of *Lithostrotionella* is in its nature a medial plate, not combined with other structural elements.

In regard to the development of the septa of *Lonsdaleia*, SMITH observes that in the earlier stages of coral growth they are very short and united to the wall.<sup>5)</sup> As the corallites grow there appear dissepiments, the septa "retreat, as it were, from the epitheca (wall)," and assume the characteristic feature of the genus.

The ontogenetic development of the structural elements sketched above may well be regarded as true of other forms of corals of the same group. Thus, *Lithostrotionella* has two opposite features in the development of the structural elements of this group of corals. Columella and tabulae of the *Lithostrotion* type indicate a more primitive stage (phylogenetically), and septa and dissepiments of *Lons-*

1) *ditto*:—p. 19, pl. I, fig. 3; pl. II, fig. 6. See also BENSON and SMITH:—*op. cit.*

2) *ditto*:—Explanation of pl. II.

3) Monogr. Brit. Foss. Corals, p. 1xxii.

4) The genus *Lonsdaleia* and *Dibunophyllum rugosum*. Q. J. Geol. Soc. Vol. 71, p. 231, 1916.

5) *ditto*, p. 230.

*daleia* type, a more advanced stage. We can see this combination of structural elements very well in many of the North American species of *Lithostrotionella* to be described below. In this peculiar structure the difference from the Australian forms in which the septa have a "tendency to become disunited" with the wall, can not be understood as one of degree.

When a type of structure is believed to have been derived from another we should expect some intermediate transitional forms or stages. There are, it seems, some such transitional forms among the fossils collectively called *Lithostrotion*, as for instance, the Australian forms referred to above, but they are not necessarily to be regarded as disproving the separation of *Lithostrotionella* from *Lithostrotion* as a different group or genus, at least for the time being. The former occupies, in the systematic, a position between the *Lithostrotion* and *Lonsdaleia*, with respect to the inner structure.

Another possible combination of structures, by the way, is that of a *Lonsdaleia* columella with *Lithostrotion* septa. This is represented by a group of corals which was called by YABE and HAYASAKA "*Waagenella*,"<sup>1)</sup> a name which was afterwards changed to *Waagenophyllum*.<sup>2)</sup> To this group several species of fasciculate growth belong. The relations between these groups were discussed in detail by YABE and HAYASAKA in their paper on the Paleozoic corals quoted elsewhere. A table in which these relations were summarized is reproduced below, in a slightly modified form.

		Longitudinal section	
		Conical or horizontal tabulae; thin columella; two-fold structure	Horizontal tabulae; wide composite columella; three-fold structure
Transverse section	Septa distinct throughout	<i>Lithostrotion</i>	<i>Waagenophyllum</i>
	Septa disappearing in dissepiments	<i>Lithostrotionella</i>	<i>Lonsdaleia</i>

1) YABE and HAYASAKA:—*op. cit.*, p. 96.

2) HAYASAKA:—On the Fauna of the Anthracolithic Limestone of Ômi-mura, etc. Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ., II. ser. Vol. VIII, No. 1, p. 23, 1924.

By the reduction of the columella we get *Diphyphyllum* from the *Lithostrotion-Waagenophyllum* line and *Thysanophyllum* from the *Lithostrotionella-Lonsdaleia* line. In the original paper YABE and HAYASAKA brought these two genera into this table of classification, but they are here omitted, because they are not very necessary for the present purposes.

In connection with the structural features of *Lithostrotionella*, two European genera, *Petalaxis* and *Chonaxis*, should always be remembered as allied groups. When YABE and HAYASAKA were describing *Lithostrotionella* they discussed its relations to those two genera (p. 93-96). Up to the present no new information concerning the two European genera has been gained, and the opinion expressed by us in the former occasion about the affinities of these corals need not be changed. *Petalaxis* appears to be much more closely comparable to *Lithostrotion* than to *Lithostrotionella*.

#### IV. A Deceptive Feature in the Calyx.

In many of the specimens of *Lithostrotionella* examined, the calyces are exceedingly well preserved. In these calyces the septa are seen as extending from the epitheca to the central part of the corallites. It seems that the septal development has quite often been described on the basis of observations upon such calyces. However, it must be borne in mind that the calicular features do not indicate the true features of the septal development. The inner surface of the calyces represents the last surface of the dissepimental tissue. Therefore, even in the forms of corals in which the septa are not complete, they have the appearance of completeness as they have in many well preserved specimens of *Lonsdaleia*. Consequently, it becomes necessary to examine thin sections or polished surfaces across corallites to determine the mode of septal development. In the early days this seems to have been described from its calicular aspects where the specimens were well preserved, and in others from transverse sections. This is true, for instance, of the works of MILNE-EDWARDS and HAIME.

Here, SMITH's observations concerning the septal development in *Lonsdaleia* are very suggestive.<sup>1)</sup> In *Lonsdaleia* the septa do not reach the wall, and "only cut through the dissepiments for a certain distance, and then die out in tooth-like extensions, each of which rests upon a platform of dissepiments". This is very well illustrated by fig. 1 given on the same page. The inner surface of the calyx is the last of the platforms made by the dissepiments. Thus, the depth of the calyx depends upon the inclination of the dissepimental cells.

In certain transverse sections of *Lithostrotionella*, some septa are seen to reach the wall; this may result from the section passing through a certain point, where the "tooth-like extensions" are more closely set transversely. A similar appearance may result from cutting transversely corallites that have numerous dissepiments. In such cases, the apparently complete septa are not really continuous throughout their total extension as will be seen in certain transverse sections. This is to be expected from the nature of septa and dissepiments, which is well represented by the figure given by SMITH as cited above.

## V. On Some North American Species

There are several species of *Lithostrotionella* in North America, all of them being Mississippian in age. The most important of these, it seems to me, is the one known among geologists as *Lithostrotion mamillare*, because it is found very widely distributed on the continent, and is in most cases represented by wonderfully well preserved specimens. This species was first described by CASTELNAU as *Axinura canadensis* n. g. n. sp.<sup>2)</sup> At the same time, CASTELNAU united his North American *Astraea mammiearis* (non FISCHER DE WALDHEIM) to this new species as synonymous.<sup>3)</sup> Subsequently, CASTELNAU's new genus was regarded by MILNE-EDWARD and HAIME<sup>4)</sup> as nothing but

1) *op. cit.*, p. 225, 1916.

2) CASTELNAU:—Terr. Sil. de l'Amer. Nord, p. 49, pl. 24, fig. 4, 1843.

3) *ditto*, p. 50.

4) MILNE EDWARDS et HAIME:—Monogr. polyp. foss. terr. pal., p. 433, 1851.

*Lithostrotion*, and since then the name *Lithostrotion canadense* has become to prevail. On the other hand, the European *Astraea mamillaris* is a species originally recorded by FISCHER DE WALDHEIM from the Carboniferous formation of Mjatschkova.<sup>1)</sup> Of this no description is given, the only record being a figure in the *Oryctographie*. FISCHER DE WALDHEIM considers that this species is identical with a nameless and undescribed fossil in the collection of ELLIS.<sup>2)</sup> It is very hard to tell what kind of a coral it is, because the figure is not very well printed, although this and the Russian specimen mentioned by FISCHER DE WALDHEIM may be very much alike. There is no means of knowing what kind of structures these corals really have, although it is certain that they resemble *Lonsdaleia* in appearance: EICHWALD, for instance, put *Astraea mamillaris* into the synonymy of his *Lonsdaleia fliformis*.<sup>3)</sup> However, we can say, with certainty, that CASTELNAU's *Astrea mamillaris* of North America differs from the European forms recorded by those authors quoted above. The name *mamillare* cannot remain with the North American forms that have often been called by it.

Turning again to *Axinura canadensis*, it seems that the more recent knowledge concerning the geology of the locality where CASTELNAU's original material occurred disproves its being Carboniferous in age: according to GIRTY, it is rather pre-Carboniferous. Moreover, the original specimen of CASTELNAU's species is considered lost in all probability, so that nobody can be able to know what kind of a coral CASTELNAU did mean to designate. It seems quite reasonable that GIRTY should drop the name *Axinura canadensis* from the Devonian and Carboniferous paleontology of North America.

Now, the first half of the diagnosis of *Lithostrotion canadense* in the monograph of MILNE-EDWARDS and HAIME describes very fully

- 1) FISCHER DE WALDHEIM:—*Oryctographie der Gouvernm. du. Moscou*, pl. 47, fig. 3, 1830.
- 2) The Nat. Hist. of Many Curious and Uncommon Zooph., coll. . . by the late John ELLIS. . . Systematically arranged and described by the late Daniel SOLANDER, pl. 47, fig. 3, 1879.
- 3) *Lethaea rossia*, I, p. 565, 1860.



the North American forms known as *Lithostrotion mamillare*. It is observed, however, that the well-developed, very thin, straight and subequal septa are distinct throughout—"distincte depuis la muraille." It can be imagined that those authors made their examination on calyces of the coral but not on thin sections, thus failing to discover a peripheral zone of dissepiments in each corallite. In all the specimens I have examined, I find the septa do not reach the wall, but become more or less indistinct in the peripheral zone. All these specimens are, on the other hand, in all probability, identical with those recorded in various papers as *Lithostrotion mamillare* or *canadense*. Thin sections and fractured surfaces show the inner structure very well.

Upon GIRTY's authority, ULRICH was the first to pay attention to the peculiar structure of columella in those American corals, and to express a doubt as to the generic reference current for a long time, suggesting that they might properly be placed in the genus *Lonsdaleia*. The columella, however, is not that of the typical *Lonsdaleia*, but that of *Lithostrotion* somewhat modified.

After having examined a number of specimens I could recognize at least three different types in habit of growth among the corals that have hitherto been called in the United States *Lithostrotion mamillare* or *canadense*. The differences among these types or groups seem to be quite persistent. These types can also be recognized respectively in various paleontological and geological papers. Thus, it seems to me better to describe the three types separately than to make a species having a very wide range of variation.

The first one of these types is characterized by its large and rather irregular form of growth, with very large calyces: the second type is almost indistinguishable from the first in the form and arrangement of corallites, but it is characteristically hemispherical in growth, and both the colonies and corallites are smaller: the third one differs from the two other types in forming long prismatic corallites of rather uniform size: there also are some differences in the construction of the corallites.

The first type is represented by *Astrea mamillaris* as illustrated by CASTELNAU (not by FISCHER DE WALDHEIM), and much better by figure 1 of *Lithostrotion canadense* of MILNE-EDWARDS and HAIME (not of CASTELNAU). There are, among the material now under consideration, several specimens that belong to this group. This type is called *Lithostrotionella castelnaui*. The second type is very well illustrated, among others, by KEYES.<sup>1)</sup> On account of its characteristically hemispherical growth it is named *Lithostrotionella hemisphaerica*. As an example of the third type I want to mention HALL's picture of a specimen of *Lithostrotion mamillare* from Iowa.<sup>2)</sup> There are several good specimens of this type in the collection of the United States Geological Survey which may be called *Lithostrotionella americana*: this represents the third group.

Beside these larger and more conspicuous forms there are several species of *Lithostrotionella* that have not yet been described. In possessing a peripheral dissepimental zone free from septa these corals all agree. With respect to some minor differences of structure they are classified into several species, though the distinction between some of them is not very well established owing to the unfavourable state of preservation. The size of corallites varies in different species: the number and form of septa, the distance and form of the tabulae and the size and number of the peripheral dissepiments create differences in the structures of the corallites of these different species.

The following forms are described in this paper.

<i>Lithostrotionella</i>	<i>castelnaui</i>
„	<i>hemisphaerica</i>
„	<i>americana</i>
„	<i>floriformis</i>
„	<i>girtyi</i>
„	<i>multiradiata</i>
„	<i>vesicularis</i>
„	<i>tabulata</i>
„	<i>tubifera</i>
„	<i>simplex</i>

1) Missouri Geol. Survey, Vol. IV., Pt. 1, pl. xii., fig. 8, 1894.

2) Rep. Geol. Survey Iowa, pl. xxiv., fig. 5, 1885.

## VI. On the Structural Modification of *Lithostrotionella*

Among the specimens examined by me there are a few in which all or some of the corallites lack columella. In such corallites tabulae are always horizontal, instead of being vaulted or raised centrally in columellated ones. The structural feature in such specimens looks very much different from that of the normal ones, especially when examined in thin sections. The correlation of horizontal tabulae and absence of columella is not an uncommon phenomenon among corals, in *Thysanophyllum*,<sup>1)</sup> for instance, a representative among the contemporary and kindred genera, though it is a fasciculate genus. It is also a well-known fact that in *Lithostrotion* columella may be discontinuous in some corallites, and wanting in some others. Thus, there is reason for calling the types without columella 'modified forms' instead of placing them in an other species or in another genus.

Morphogenetically considered, corallites with all their structural elements should be regarded as complete or typical. Thus, each species of the genus *Lithostrotionella* described in this paper develops theca, septa, vesicular dissepiments, tabulae and columella. As a matter of fact, such complete corallites are by far the most common throughout all the species of *Lithostrotionella*, at least so far as my observations are concerned.

What are called modified forms do not belong to a single type. There may be at least three types among the material concerned now. They may be mentioned respectively where their typical species are described.

## VII. Description of Species.

### 1. *Lithostrotionella castelnaui* n. sp.

Pl. XI, Figs. 1 and 2.

1843. *Astrea mamillaris*, Castelnau:—Terr. sil. de l'Amer. du Nord, p. 45, pl. 24, fig. 5.

1) See YABE and HAYASAKA:—*op. cit.*, p. 98-99; p. 138.

1851. *Lithostrotion canadense*, MILNE-EDWARDS et HAIME (*pars*):—Monogr. polyp. foss. terr. pal., p. 433, pl. 13, fig. 1.
- ? 1876. *L. mamillare*, ROMINGER (*pars*):—Geol. Survey Michigan, Vol. III, pt. 2, p. 111, pl. 55, upper right figure.
1905. *Lithostrotion* (?) (or *Lonsdaleia*?) *canadense*, ULRICH:—The Lead, Zinc and Fluorspar Dep. W. Kentucky, U. S. Geol. Surv. P. P. 36, pl. 3, figs. 1, 2.

Corallum is composite, massive and very large, composed of prismatic corallites that are sometimes very long. Calyces are variable in size, larger ones measuring 20–25 mm. in diameter, some still more. About  $\frac{1}{2}$  central portion of the calyx is raised in the form of a dome, on the top of which is a columellar projection which is in most cases platy, but sometimes styliform. Septa are abundant, their radiating edges within calyces not quite reaching the center of the central domes. Cardinal fossula is often recognized at one end of the columellar projection.

*Longitudinal section*: Peripheral zone of dissepiments is ca.  $\frac{1}{5}$  as wide as the corallite, and is composed of rather flat vesicles that are, as a whole, steeply (at an angle of more than 40 degrees) inclining toward the center: vesicular dissepiments are irregular in size and shape, 2, 3, or more of the cells being sometimes found in the zone. In a longitudinal distance of 5 mm. 5 to 7 of the vesicular cells can be counted. Tabulae are strongly raised in the center to form a cone-in-cone structure, the top angle being about 45 degrees: apical parts are more or less united to the columella: they often branch off irregularly and sometimes become anastomosing: 4 or 5 tabulae are counted in a distance of 5 mm. False inner wall is not very distinct.

*Transverse section*: Wall is rather thick. Septa are numerous, counting 28–30 in larger corallites, intercalated by irregularly developed shorter ones: the longer ones do not quite reach the center, but become connected laterally with the neighbouring septa, and make an irregular ring, leaving a comparatively wide space inside: cardinal septum is short, and occupies cardinal fossula. Inside this irregular ring, a compound false columella is developed, composed of a thin,

elongate or rounded true columella in the center, and 2 or 3 concentric rings that are the cut-edges of the apical portion of conical tabulae: rudimentary septal ridges also take part in this structure. Peripheral zone and false inner wall are not very well distinguished, distal ends of septa often extending into the dissepiments, and sometimes reaching nearly to the wall.

*Remarks:* There are, among the specimens examined, coralla which are composed of corallites without columella. Except for this feature and the fact that tabulae are horizontal, they coincide in all other features and in growth and structural habit with the species here described. Both forms occur in association in the locality No. 499.

A few other specimens differ from the type species in being composed of somewhat larger corallites. In them the columellar projection in each calyx is rounded rather than elongate or platy in outline. On examining them on microscopic thin sections, this difference in the columellar development is found to be only one of appearance. Moreover, there are instances where some of the corallites of normal or typical corallum have rounded columellar projections.

The present species, no doubt, very much resembles *Lithostrotionella hemisphaerica*, especially in point of structure. But it is distinguished from the latter in having a smaller number of septa as well as of tabulae.

It is very easily distinguished from the other forms by its mode of growth and size of the calyces.

*Localities*<sup>1)</sup>:—(1) Near Cherokee, Alabama (boulders of *Lithostrotionella*) (No. 346 C): (2) River bluff, 1 mile south of Maeyston, Illinois (No. 499): (3) Leesville, 15 miles East of Clinton, Missouri (probably from the Seneca chert) (No. 643): (4) 1/2 mile south-east of Shrader, Pounding quadrangle, Virginia (No. 2020 A): (5) 3/4 miles north of Big Creek School, Equality quadrangle, Illinois (St. Louis limestone) (No. 2226): (6) 1/2 mile northwest of Cleveland, Bristol

1) The locality numbers in brackets, here and elsewhere, are those put on the labels of the sets of fossils under consideration.

quadrangle, Virginia (Base of the Newman limestone) (No. 3159): (7) Near Mill Point, Poehoutas co., W. Virginia (Basal part of the Greenbrier limestone) (No. 3282): (8) Santa Anna Mountain, Orange co., California (said to have come from this place) (No. 3446): ? Right river cut, 1 mile north-east of Cedar Bluff, Virginia (No. 2013 B).

## 2. *Lithostrotionella hemisphaerica*, nov. sp.

Pl. XII, Fig. 1: Pl. XIII, Figs. 1 and 2.

1852. *Lithostrotion basaltiforme*, OWEN (*pars*):—Rep. Wisconsin, Iowa and Minnesota, pl. iv., fig. 6 and explanation.  
 ? 1864. *L. mamillare* ? MEEK:—Palaeontology of California, Vol. I., p. 5, pl. I, fig. 3.  
 ? 1880. *L. mamillare*, WHITE (*pars*):—Contrib. to Invertebrate Palaeontol. No. 8, p. 159, pl. 40, fig. 6.  
 ? 1880. *L. microstylum*, WHITE:—*ditto*, p. 159, pl. 40, fig. 7.  
 1882. *L. mamillare*, WHITE (*pars*):—11th Ann. Rep. Dept. Geol. and Nat. Hist. Indiana, p. 401, pl. 52, fig. 3.  
 1894. *L. mamillare*, KEYES (*pars*):—Missouri Geol. Survey Vol. IV., pt. 1, p. 106, pl. xii., fig. 8.  
 ? 1894. *L. microstylum*, Keyes:—*op. cit.*

Corallum is hemispherical in growth, moderate in size, and is composed of prismatic corallites. Calyces are variable in size, larger ones measuring 18–20 mm. across, rarely a little more. In other respects it is like the preceding species.

*Longitudinal section*: Like the preceding, but the peripheral dissepiments are somewhat smaller and more numerous, and also much more steeply inclined. Tabulae are more closely set than in *L. mamillaris*.

*Transverse section*: Septa are 30–36, with some shorter ones developed irregularly in between. Septa appear to extend almost to the wall, leaving very little for the zone of purely vesicular dissepiments. Columella is thin, surrounded by 2 or 3 concentric, oval or broadly fusiform rings radiated by a number of rudimentary septal ridges. Wall is thick: false inner wall is more or less developed, but penetrated by the distal ends of the septa.

*Remarks*: This resembles *L. mamillaris* very closely, but it can

be distinguished by the more numerous septa and tabulae, as well as by the more conspicuous development of the rudimentary septal ridges in the columellar structure. From *L. americana*, which will be described next, this species is distinguished easily by the habit of growth which is hemispherical: the inner structure in the two forms differs much more than their morphological features. From all the other forms described in this paper, this species is very easily distinguished, because in none of the others are the corallites and calyces as large as in this.

The hemispherical growth of this coral was long ago recognized as characteristic by OWEN, who remarked in the work quoted above: "Another species, or perhaps only a variety of this coral (*i. e. Lithostrotion basaltiforme* of his definition which is *Lithostrotionella americana* of this paper) occurs in the same part of Iowa . . . ; the internal structure of this *Lithostrotion* is essentially the same; it occurs, however, in hemispherical mass. . ."

*Localities*:—(1) 1/2 mile south of Longford, west side and 300 ft above creek, Kentucky (upper part of the lower Subcarboniferous limestone) (No. 83): (2) 3 miles west of Tennessee, Glochester-Macomb quadrangle, Illinois (Wash from the St. Louis limestone) (No. 1148): (3) Slug Creek quadrangle, Idaho (Madison limestone) (No. 1439): (4) Forks of road, 1/2 mile south-east of Shrader, Tazewell quadrangle, Virginia (Greenbrier series) (No. 2020): (5) Mill Point, Poehoutas co., W. Virginia (Base of the Greenbrier series) (No. 3283): (6) West of Holiday Park, Weber River, Utah (Lower Carboniferous) (No. 5892): (7) Meramec Highlands near St. Louis, Missouri (Float, but probably derived from the St. Louis limestone) (No. 932 A): (? ) 3/4 miles north-east of Hicks, Equality quadrangle, Illinois (Nos. 2222 A and 2222 C).

### 3. *Lithostrotionella americana* n. sp.

Pl. XIV, Figs. 1 and 2.

1852. *Lithostrotion basaltiforme*, OWEN (*pars*):—*op. cit.*, pl. iv., fig. 5.

1858. *L. mamillare*, HALL (*pars*):—Rep. Geol. Survey Iowa. p. 667. pl. xxiv., fig. 5.

Corallum is large, massive and composed of long prismatic corallites that are closely in contact with one another, and more or less variable in size, larger ones measuring about 13–15 mm. in diameter. Walls are thick: calyces are not very deep, with low dome-shaped rounded projection in the center; these projections or domes occupy about  $\frac{3}{5}$  central part of calyces. Calycular wall is radiated inside by short septa which extend half way toward the center of the domes; they number 22–26, sometimes 28. Columella is indicated by a small, platy point on the top of the dome.

*Longitudinal section:* Wall is quite thick and lined with very strongly inclined, low lenticular dissepiments that are irregular both in size and form: one, two or sometimes three or more of these cells are found in the zone which is about  $\frac{1}{5}$  as thick as the entire diameter of corallites. Distinct false inner wall is formed by the inner surface of dissepiments. Tabulae are centrally elevated, steeply inclined, rather widely spaced, counting about 6 or 7 in a distance of 5 mm. Columella connects the tops of the conical tabulae.

*Transverse section:* Dissepimented zone is quite well defined, forming with its inner surface an inner wall. Septa are thick, almost uniform in length, starting from the false inner wall and not reaching center; united laterally at the proximal end, so as sometimes to form an irregular ring or pseudotheca within the theca. Columella is platy, thin and often flexuous, being surrounded by cut edges of apical parts of tabulae, and sometimes, also by a few radial elements of construction. Rudimentary septal ridges are also quite often observed inside the theca or wall.

*Remarks:* This species differs from both of the two preceding ones by its prismatic growth, by its well-defined peripheral zone and consequently false inner wall and by its smaller number of septa. Its structure is also, on the whole, much simpler.

*Localities:*—(1) Maeystown, Illinois (Base of the St. Louis limestone) (No. 498): (2) 1 mile south of Maeystown, Illinois (Base of the St. Louis limestone) (No. 499): (3) 2 miles southwest of St. Genevieve, Missouri (Oolitic bed in the lower part of the St. Louis limestone) (No.



1211 B): (4) Near Scottsville, Alvaton quadrangle, Kentucky (No. 2333): (5) West of "China Hat," south-western part of Henry quadrangle, Idaho (The Brazer) (No. 3024): (6) 1 mile north-west of Lillienthals—a short distance north-west of 611, Reading quadrangle, California (No. 3859): (7) Summit of Gray Rock ridge, north-west of road, California (Above Black Diamond Mine) (No. 3896): (8) River wash, Arctic East Alaska (No. 7130 B): (?) 141st meridian, easterly spur from ridge between headwater forks of Incog creek, about 2 miles northwest from station 966 (a smaller variety?) (No. 970).

#### 4. *Lithostrotionella floriformis*, nov. sp.

Pl. XVII, Fig. 1.

Corallum is massive in growth; calyces are variable in size larger ones being ca. 10–15 mm. across, deep, with conical elevation in the center. Septa are numerous and distinct, extending partway to the central elevation. Columellar projection is styliform, and is more or less elongate in outline.

*Longitudinal section:* Tabulae are conically elevated at the center, where they are penetrated by the thin columella. Peripheral zone consists of flat vesicular cells of various sizes, sometimes only one occupying the entire width, sometimes 2 or 3: dissepiments are all strongly inclined centrally, with their convexity obliquely upwards. About 5 or 6 tabulae are counted in a distance of 5 mm.: vesicular cells about twice as numerous.

*Transverse section:* Larger corallites are sometimes 15 mm. in diameter. Peripheral zone of vesicular dissepiments are comparatively wide, sometimes being 1/4 of the diameter of corallite. False inner wall is rather distinct. Within the false inner wall there are about 20 septa, with shorter ones in alternation: shorter septa are often rudimentary and unrecognized; longer ones are usually not reaching columella, but are forming a ring around it. Rudimentary septal ridges are inside the theca, and they sometimes become continuous

with the septa that extend outwards beyond the pseudotheca. Columella is thin, flexuous, but not well-defined.

*Remarks:* This species very closely resembles *L. hemisphaerica*, but is distinguished from it by having smaller calyces: the number of septa and dissepiments is also smaller.

Compared with *L. multiradiata* this species has less numerous tabulae and more numerous vesicular dissepiments: shorter septa are likewise not so well developed.

*Locality:* West end of the southern shore of Madre de Dios Island, Alaska (No. 3760).

### 5. *Lithostrotionella girtyi*, nov. sp.

Pl. XIII, Fig. 3.

Massive, composite corallum, with deep calyces which are more or less variable in size, larger ones measuring 9-10 mm. or sometimes 11 mm. in diameter. Inside the calyces the central part is vaulted like a dome occupying about 1/2 of width. Platy columella projects from the center of the dome. 16-18 septa are visible within the calyx, extending to the upper surface of the dome; one of them is often connected with platy columellar projection.

*Longitudinal section:* Dissepiments are arranged in one vertical layer and are very strongly inclined inwards, so as to form deep calyces. Tabulae are strongly conical, counting about 10 in 5 mm., with a thin, straight columella penetrating them.

*Transverse section:* Peripheral zone is moderately wide, and dissepiments are large, 6 or 7 of them lining the wall in one row, forming with their inner surfaces a false inner wall. Corallites are 5-10 mm. in diameter. Wall is rather thick; false inner wall and septa do not reach the center except one, or sometimes two, that are usually connected with the columella: they extend backwards into the dissepimental zone at the periphery.

*Remarks:* The characteristic feature of this species is the wide peripheral zone composed of a relatively smaller number of larger

vesicular cells. The peripheral zone is relatively larger in this species than in *L. simplex* which is described below and the septa are also longer. These two forms are, however, very much alike in essential structural features.

Still more closely allied to this species is *L. multiradiata*: the only noteworthy difference being in the number of septa, although there is also a difference in the size of corallites.

Among the material at my disposal there is one specimen (from the locality No. 2111) which has smaller corallites but is similar in structure. It may be regarded as a smaller variety of the present species, while two other specimens are regarded as younger colonies: they are from localities No. 3856 and No. 5077 A.

Yet another form should not escape our attention, *viz.*, a specimen from Idaho (Loc. No. 43) which has comparatively large vesicular dissepiments that are not radiated by septa. Tabulae are horizontal and columella is lacking in many, but not all, of the corallites. In some of the calyces a styliform columellar projection is developed. This is but a modified form of *Lithostrotaonella girtyi*.

*Localities*: (1) Meridian Range (Divide between Trail and 2nd Standard Parallel Creek), Montana (Madison limestone) (No. 2111): (2) 1/2 mile north of James ranch, California (No. 3856): (3) South side of Little Rocky Mountains, Montana (probably from the Upper limestone) (No. 3864): (4) North side of the Feather river, 3 or 4 miles above Oroville, California (No. 4801 H): (5) 1/8 mile north of No. 59—west side of Weber Canyon, above Morgan, Utah (No. 5077 A): (?) Neighbourhood of Maeystown, Illinois (Base of the St. Louis limestone) (No. 499): (?) 10 miles south-west of Granitville, Utah (apparently float).

## 6. *Lithostrotaonella multiradiata*, nov. sp.

Pl. XV, Fig. 1.

Corallum massive, hemispherical in growth, ca. 16 cm. in diameter, composed of prismatic corallites. Calyces are rather shallow, more

or less variable in size, larger ones measuring 10–12 mm. in diameter. Septa are thin and numerous. Central dome-like elevation is ca.  $1/2$  as wide as calyx, with a platy columella in the center, and radiated by septa. Wall is quite thick and distinct.

*Longitudinal section:* Dissepiments are large, elongate, and steeply inclined, about 6 occurring in a vertical distance of 5 mm. Dissepimental zone is up to  $1/3$  the entire width of corallites. Tabulae are strongly raised at the center, and more closely set than the dissepiments; ca. 12 in 5 mm.

*Transverse section:* Diameter of false inner wall is less than  $1/2$  of corallites. Within the false inner wall there are 36 or more septa, the longer and the shorter ones alternating: the longer ones almost reach the center and the shorter ones are half as long. Dissepiments are few and large, 5 or 6 in number having been counted. Wall is almost as thick as the dissepiments, but more or less thickened by secondary deposits. Cut-edges of some dissepiments are seen as connecting lateral bars between septa.

*Remarks:* As a whole the corallites of this species are appreciably larger than those of *L. girtyi*, and in the typical form central domes in calyces are slightly lower. The most important difference, however, is that the septa are far more numerous. In reality there are 18 septa in *L. girtyi* while there are 36 in *L. multiradiata*, half of them being of the second order. This difference, however, does not seem to be due to a difference in the stage of growth of the two species respectively, because both of them are represented by adult specimens. On the weathered surface, the present species shows very closely set septa inside the calyces, and this feature distinguishes it from the other allied forms of this group of corals. Compared with *L. floriformis*, the shorter septa are much more completely developed, the tabulae far more numerous, and the vesicular cells are very considerably less in number in this species.

*Localities:* (1) Mansfield, Montplier quadrangle, Idaho (No. 104); (2) Old Laketown Canyon, Randolph quadrangle, Uta (probably descended from the upper Missouri region) (No. 490).

7. *Lithostrotionella vesicularis*, nov. sp.

Pl. XIV, Fig. 3.

Corallum is massive and large; corallites are prismatic and long. Calyces are rather shallow being 9-10 mm. across; wall is thickened; central dome is rather low. Calyces are with radial septal edges inside.

*Longitudinal section:* Vesicular zone is  $1/4$  of corallites in width; dissepiments are fine and lenticular, and are moderately inclined inwards; 12 or more are counted in a distance of 5 mm. Tabulae are thin, numerous, branching off in various ways; rather slightly elevated in center. Columella is thick.

*Transverse section:* Wall is thin, sometimes secondarily thickened; vesicular dissepiments are fine and numerous, 5-6 composing the zone; false inner wall is not very distinct. Septa are 36 in number, primary and secondary not well developed, starting from amidst the dissepiments, two opposite primary ones being connected with the longer axis of the columella, others often not reaching it. Owing to the abundance of vesicular cells septa are apt to appear to extend to the wall in a transverse section.

*Remarks:* The tabulae in this species are various in form, sometimes developing smaller tabulae or tabellae near the center, sometimes branching along the external side, that is, near the false inner wall. These features are well seen in some of the vertical sections. Dissepiments are very small and numerous. Thus, the inner structure of this species, as a whole, is vesicular, especially when seen in longitudinal section. In transverse section also the septa do not assume the most important part in the whole structure of a corallite.

Although the septa seem to be originally numerous, the shorter ones are usually much reduced both in number and length, and consequently, this species is not likely to be confounded with *L. multi-radiata* on this point. It is very easily distinguished from any of the other species described in this paper.

*Localities:* (1) Porcupine-Arctic section, Alaska (No. 970): (2)

South shore of the island at the entrance to Soda Bay, Alaska (No. 3747 C).

8. *Lithostrotionella tabulata*, nov. sp.

Pl. XVII, Fig. 2.

This species is almost like *L. vesicularis* in the habit of growth, as well as in the essential structural features of corallites. Corallum is large, composed of numerous prismatic corallites that are more or less flexuous, and measure about 5–8 mm. in diameter.

*Longitudinal section:* Vesicular dissepiments are small, arranged in 2 or 3 irregular rows in the peripheral zone, inclining inward at an angle of about 45 degrees, forming with their inner surfaces a false inner wall. Tabulae are thin and almost horizontal, more or less complicated by their irregular branching. Columella is thick and rod-like. About 11 or 12 tabulae are counted in a vertical distance of 5 mm., with the dissepiments a little less numerous.

*Transverse section:* Wall, septa and dissepiments are all thin. Septa are about 36, longer and shorter in alternation: longer ones extend almost to columella, shorter ones are thinner and rudimentary. Columella is thickened and more or less rounded in cross section. Longer septa extend outward into the vesicular zone, some of them apparently reaching the wall.

*Remarks:* This species differs from *L. vesicularis* in the smaller size of its corallites, and the larger and less numerous vesicular cells, as well as by reason of its more closely arranged tabulae which are almost horizontal.

*Locality:* Lanes Creek quadrangle region, Idaho (from near the top of the Brager series) (No. 1476).

9. *Lithostrotionella tubifera*, nov. sp.

Pl. XVI, Figs. 1 and 2.

Corallum is massive, spheroidal in growth, composed of prismatic corallites measuring about 5–6 mm., sometimes 7 mm. in diameter.

*Longitudinal section:* Wall is thin, sometimes thickened secondarily: about  $1/2$  of central part of corallites is tabulated, tabulae being thin and slightly elevated centrally, numbering about 12 in 5 mm., but more or less irregularly spaced. Columella is thinner than tabulae, and slightly flexuous. Peripheral dissepimental zone is ca.  $1/2$  as wide as the tabulate zone; dissepimental cells are large and rounded, arranged in one vertical row, each cell being very steeply inclined inwards.

*Transverse section:* Inner surface of dissepimental zone creates false inner wall, from which septa extend inwards, numbering about 30 or 32, longer and shorter in alternation. Longer septa are connected with each other at their inner edges and form a tube about 1-1.5 mm. in diameter, columella being situated inside. Shorter septa are less than  $1/2$  of the longer ones in length, and sometimes even almost obsolete. The central tubes formed by the inner ends of longer septa are seen very well in some calyces or on the fractured surface of corallites. One of the longer septa extends into the tube, suggesting that it is connected with columella.

*Remarks:* This is one of the most well-established species among the North American species of *Lithostrotionella*. By the development of the central tube surrounding columella in each corallite it is very easily distinguished from any of the other species described.

*Localities:* (1) Near Lime Spur, Madison co., Montana (The Madison limestone) (No. 3290): (2) Crest of the ridge, east of Old Baldy, at altitude of about 900 feet, Montana (No. 5894).

#### 10. *Lithostrotionella simplex*, nov. sp.

Pl. XIV, Fig. 4.

Massive corallum of a good size. Corallites are somewhat flexuous, uniform in size, measuring 5-6 mm. in diameter. False inner wall formed by the inner surfaces of vesicular dissepiments is very distinct. Peripheral zone, composed of a small number of very large vesicular

cells, is about 1-1.5 mm. wide. Columella is small, platy, continuous with one of the septa.

*Longitudinal section:* Peripheral dissepiments are large but irregular in size, strongly inclined, arranged in one row, counting about 6 in 5 mm. Tabulae are rather irregularly spaced, counting about 9 or 10 in 5 mm.; slightly steepened near columella and false inner wall, between which they are often rather concave. Columella is thin, sometimes thickened secondarily; more or less flexuous.

*Transverse section:* Most of the characteristics are shown on the fractured surface of the specimen. Peripheral dissepiments are very large, only 5 or sometimes 6 of them being counted. Inner wall is distinct. Septa are of only one kind, numbering on an average 18, one of them usually extending to the center, the others only about  $\frac{1}{3}$  as long. Some of septa are protruding a little out of the false inner wall. Wall is thin and distinct, false inner wall and septa thinner.

*Remarks:* The simplicity of the corallite structure suggests that this species represents a younger stage of some other. However, corallites that are more than 40 mm. long are alike at both ends in size and structure, as is seen in fragmentary specimens, so that the characters observed in these specimens seem to be quite established. The simplicity of structure which is characteristic of this species readily distinguishes it from all others.

There is, among the specimens examined, quite a large specimen of a coral from Alaska (Loc. No. 3769), measuring about  $25 \times 12 \times 15$  cm., which differs only a little from the species here described. Calyces are rather uniform in size, ca. 6-7 mm. across, deep, radiated by about 18 septal edges. In some of the calyces columella is seen as a styliform projection. Tabulae are horizontal in corallites that have no columella, and are 1 mm. apart. Dissepiments are rather few and strongly inclined inwards. In cross section the septa are seen not to reach the center: false inner wall is quite well developed. This is called a modified form of the species described now.

*Localities:* (1) Paradise Canyon, Wasatch Range (above the pho-



sphatic horizon), Utah (No. 5893): (2) 1 1/2 miles west of the Phosphate Mine, north-east of Cokeville, Wyoming (Limestone in the Weber quartzite) (No. 7452).

## VII. On *Lonsdaleia pictoensis* (BILLINGS)

This species was originally described by BILLINGS as *Lithostrotion pictoense*.<sup>1)</sup> His description is very thorough although his pictures are not very good. Thirty-one years later, LAMBE transferred this species to *Lonsdaleia*,<sup>2)</sup> and subsequently repeated the description with illustrations.<sup>3)</sup>

According to BILLINGS, the septa in this species are 48 in number, all starting from the theca: and one half of them not extending beyond the false inner wall. The columella was only obscurely indicated in the polished longitudinal section, tabulae being elevated centrally. These observations seem to indicate that this species is a typical form of *Lithostrotion*, as considered by BILLINGS who found a very close affinity between this and *Lithostrotion affine* (FLEMING) of the British Carboniferous.

On the other hand, LAMBE states that septa are not so numerous, that they converge from the inner wall, and "occasionally extend outward into the vesicular zone and more rarely reach the outer wall." There is, according to his description, a comparatively wide peripheral zone of vesicular dissepiments in each corallite. Thus, he thought it better to call the species a *Lonsdaleia* rather than a *Lithostrotion*. His pictures really give an impression of a *Lonsdaleia*.

Upon examining these figures a little more carefully however, we find that the columellar region is not constructed like that of a typical form of *Lonsdaleia*. We can not see the presence of the medial plate, septal lamellae and axial tabellae, of SMITH, that are charac-

1) DAWSON:—Acadian Geology, 2 ed., p. 285, fig. 83, 1868.

2) On Some Species of Canad. Pal. Corals. The Ottawa Naturalist, Vol. xii., p. 248, 1899.

3) Contributions to Canad. Palaeontology, Vol. iv., pt. ii., p. 173, pl. 14, figs. 9, 9a, 1901.

teristic of the columellar structure of a *Lonsdaleia*. In reality, LAMBE states that the tabulae rise suddenly and inosculate "with each other near the center so as to form the columella." LAMBE does not mention the existence of a medial plate or the platy columella of the *Lithostrotion-Lithostrotionella* type but, judging from the form of the tabulae, such a structure may be present if not very distinctly developed, as BILLINGS described. If this is the case, then this coral is a species of *Lithostrotionella*.

If this is a *Lithostrotionella*, however, it is the only known fasciculate species of the genus. As there are massive and fasciculate forms of *Lithostrotion* and *Lonsdaleia*, so we can expect the discovery of some fasciculate forms of *Lithostrotionella*, although the true position of the coral now under consideration cannot easily be decided.

As we know, there are several species of *Lithostrotion* hitherto known from North America, and they are all of fasciculate growth, for instance, *L. harmonites*,<sup>1)</sup> *L. stokesi*,<sup>2)</sup> *L. whitneyi*,<sup>3)</sup> etc. They are really *Lithostrotions*. In the collection of the U. S. Geological Survey I have found several species of *Lithostrotion*. Some of them may belong to the species that are new to this continent, and some others may no doubt be new to paleontology. They are all fasciculate forms. The probability of "*Lonsdaleia*" *pictoensis* being a *Lithostrotion* is thus very great.

In any event, "*Lonsdaleia*" *pictoensis* does not seem to be a true *Lonsdaleia*, and as this has been the only described species of the genus from the continent of North America, that it ceases to be a *Lonsdaleia* is worthy of note.

- 1) MILNE-EDWARDS et HAIME:—Monogr. pal. foss. p. 440, pl. 15, figs. 1, 1a, 1851.  
ULRICH: U. S. G. S. P. P. 36, pl. v., figs. 14a-f, 1905.
- 2) MILNE-EDWARDS et HAIME:—*op. cit.*, p. 440, pl. 20, fig. 2.
- 3) MEEK:—U. S. Geol. Expl. 40 Par. Vol. 4, p. 53, pl. 6, figs. 1, 1c, 1877.  
WHITE:—U. S. Geol. Surv. W. 100 Merid. Vol. iv., p. 103, pl. 6, figs. 1a-c 1879.



## EXPLANATION OF PLATES

As has been remarked elsewhere, the photographs of the fossils under consideration were prepared in the United States Geological Survey under the direction of Dr. GIRTY. Of the larger specimens the pictures were reduced in size, but as Dr. GIRTY wrote to me, it is not easy to ascertain the degree of reduction of such irregular and rounded objects as these corals, however, "in no instance are the photographs less than three-fourths of the natural size." "This matter, however, is of minor importance, for the size of any particular corallum is a matter of age and therefore of chance", and the dimensions of coralla as well as of constituent corallites are given in the description. Thin sections, on the other hand, are all enlarged to twice the natural size.



## **PLATE XI**

## Plate XI

Fig. 1. *Lithostrotionella castelnaui*, nov. sp. A specimen from the locality No. 499 (River bluff, 1 mile south of Maeystone, Illinois). (Type specimen).

a: Calycular view, reduced in size.

b: Longitudinal section of a corallite,  $\times 2$ .

c: Transverse section of a corallite,  $\times 2$ .

Fig. 2. *Lithostrotionella castelnaui*, nov. sp. Another specimen from the locality No. 3282 (Near Mill Point, Poehoutas co, W. Virginia—Basal part of the Greenbrier limestone).

a: Surface view of the specimen, reduced.

b: Transverse section of a corallite,  $\times 2$ .







## **PLATE XII**

## Plate XII

*Lithostrolionella hemisphaerica*, nov. A specimen from the locality No.1148 (3 miles west of Tennessee, Glochester-Mocomb quadrangle, Illinois—St. Louis limestone). (Type specimen).

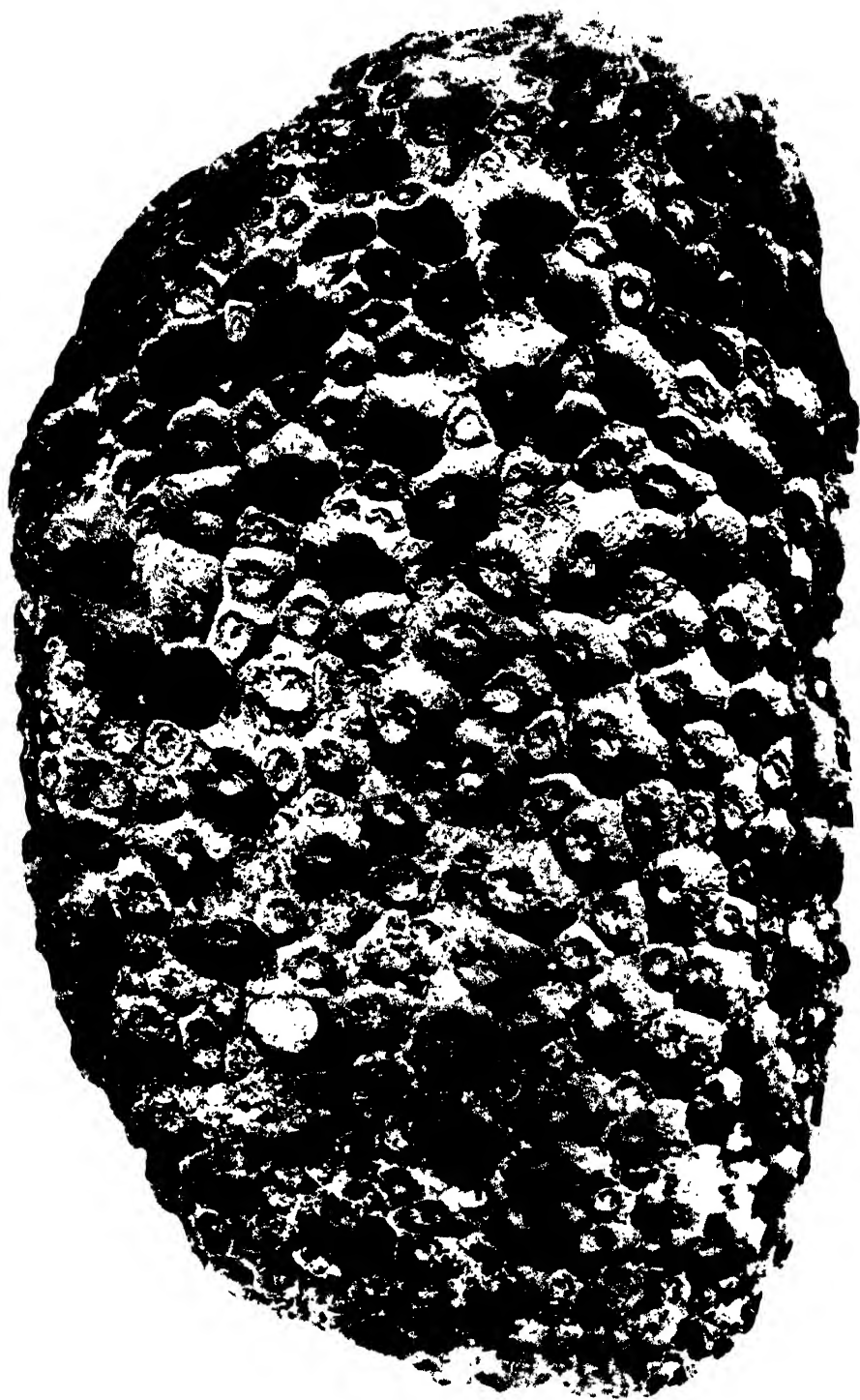
Side view of a typically hemispherical corallum, reduced from natural size.



**Plate XII**

*Lithothamnion hemisphaerica*, (L.) — A specimen from the locality No. 118, 3 miles west of Fanning, Gloucester Mocondi quadrangle, Illinois — St. Louis base fault. — Type specimen.

Side view of a typically hemispherical corallum, reduced from natural size.



### Plate XIII

- Fig. 1. *Lithostrotionella hemisphaerica*, nov. A specimen from the locality No. 3283 (Near Mill Point, Pocahontas co., W. Virginia—Base of the Greenbrier series). Viewed from above, reduced.
- Fig. 2. *Lithostrotionella hemisphaerica*, nov. sp. Thin sections from a specimen occurred at the locality No. 5892 (West of Holiday Park, Weber River, Utah—Lower Carboniferous),
- a: Longitudinal section of a corallite,  $\times 2$ .
  - b: Transverse section of a corallite,  $\times 2$ .
- Fig. 3. *Lithostrotionella girtyi*, nov. sp. A specimen from the locality No. 4810 H (North side of the Feather River, 3 or 4 miles above Oroville, California). (Type specimen),
- a: The specimen, natural size.
  - b: Transverse section of corallites,  $\times 2$ .





### Plate XIII

Fig. 1. *Lithostrotionella hemisphaerica*, nov. sp. A specimen from the locality No. 3283 (Near Mill Pond, Pocahontas co., W. Virginia—Base of the Greenbrier series). Viewed from above, reduced.

Fig. 2. *Lithostrotionella hemisphaerica*, nov. sp. Thin sections from a specimen occurred at the locality No. 5892 (West of Holiday Park, Weber River, Utah—Lower Carboniferous),

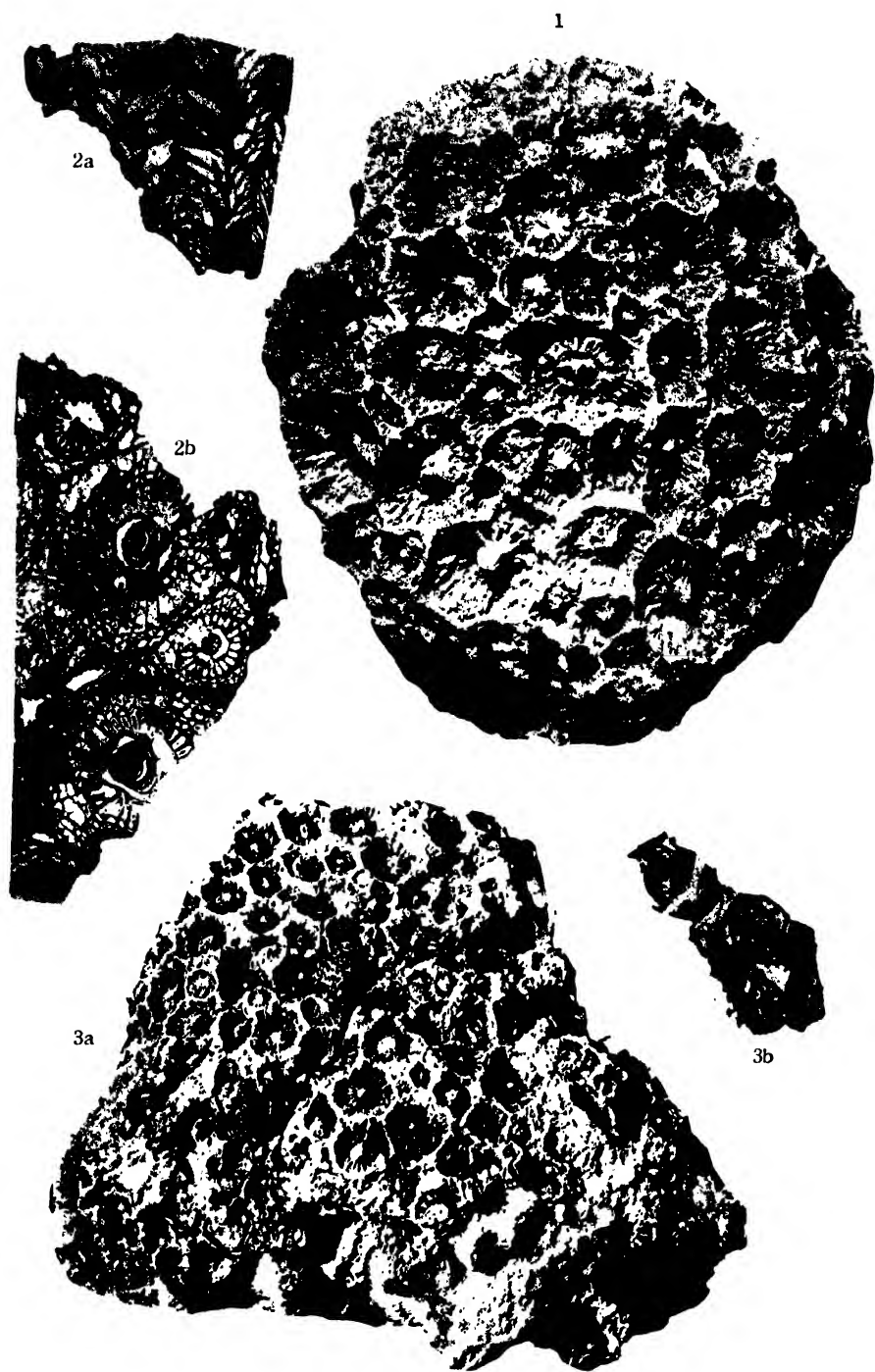
a: Longitudinal section of a corallite,  $\times 2$ .

b: Transverse section of a corallite,  $\times 2$ .

Fig. 3. *Lithostrotionella girtyi*, nov. sp. A specimen from the locality No. 4310 H (North side of the Feather River, 10 to 15 miles above Oroville, California). (Type specimen).

a: The specimen, natural size.

b: Transverse section of corallites,  $\times 2$ .





## **PLATE XIV**

## Plate XIV

Fig. 1. *Lithostrotionella americana*, nov. sp. A specimen from the locality No. 2333 (Near Scottsville, Alvaton quadrangle, Kentucky). (Type specimen).

a: A general view, natural size.

b: Transverse section of corallites,  $\times 2$ .

Fig. 2. *Lithostrotionella americana*, nov. sp. A specimen from the locality No. 1311 B (2 miles south-west of Set. Genevieve, Missouri Oolitic bed in the lower part of the St. Louis limestone).

Fig. 3. *Lithostrotionella vesicularis*, nov. sp. Thin section from the type specimen from the locality No. 3747 C (South shore of the island at the entrance to Soda Bay, Alaska).  $\times 2$ .

a: Longitudinal.

b: Transverse.

Fig. 4. *Lithostrotionella simplex*, nov. sp. Thin sections of corallites of the specimen (Type specimen) from the locality No. 5893 (Paradise Canyon, Wasatch Range, Utah—above the phosphatic horizon).  $\times 2$ .

a: Longitudinal.

b: Transverse.



## Plate XIV

Fig. 1. *Lithostrotionella americana*, nov. sp. A specimen from the locality No. 2333 (Near Scottsville, Alvaton quadrangle, Kentucky). (Type specimen).

a: A general view, natural size.

b: Transverse section of corallites,  $\times 2$ .

Fig. 2. *Lithostrotionella americana*, nov. sp. A specimen from the locality No. 1311 B (2 miles south-west of Set. Genevieve, Missouri Oolitic bed in the lower part of the St. Louis limestone).

Fig. 3. *Lithostrotionella vesicularis*, nov. sp. Thin section from the type specimen from the locality No. 3747 C (South shore of the island at the entrance to Soda Bay, Alaska).  $\times 2$ .

a: Longitudinal.

b: Transverse.

Fig. 4. *Lithostrotionella simplex*, nov. sp. Thin sections of corallites of the specimen (Type specimen) from the locality No. 5893 (Paradise Canyon, Wasatch Range, Utah- above the phosphatic horizon).  $\times 2$ .

a: Longitudinal.

b: Transverse.







**PLAET XV**

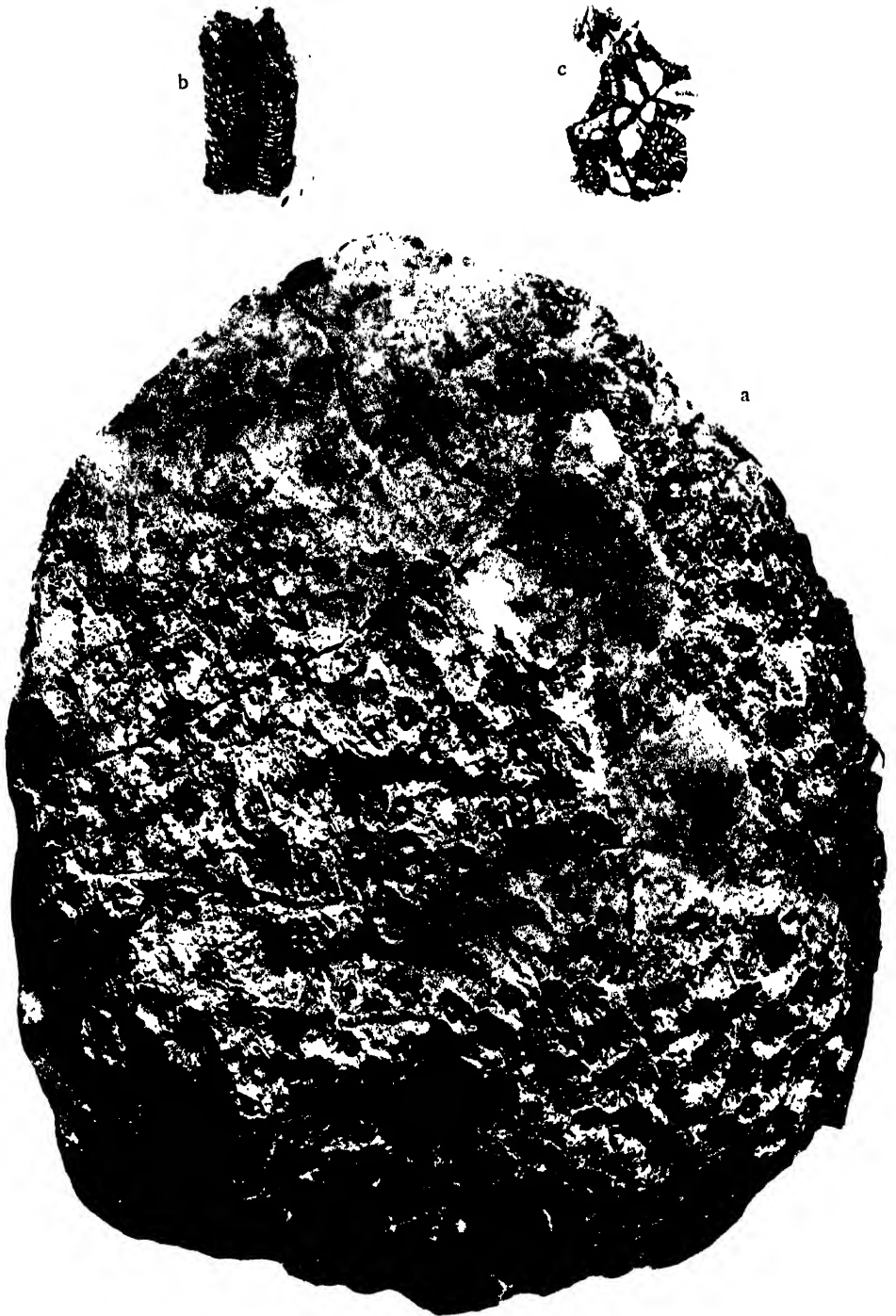
## **Plate XV**

*Lithostrotionella multiradiata*, nov. sp. A complete hemispherical corallum from the locality No. 490 (Old Laketown Canyon, Rendolph quadrangle, Utah—probably descended from the upper Missouri region). (Type specimen).

- a: General view from above, reduced.
- b: Longitudinal section of a corallite,  $\times 2$ .
- c: Transverse section of corallites,  $\times 2$ ,









## **PLATE XVI**



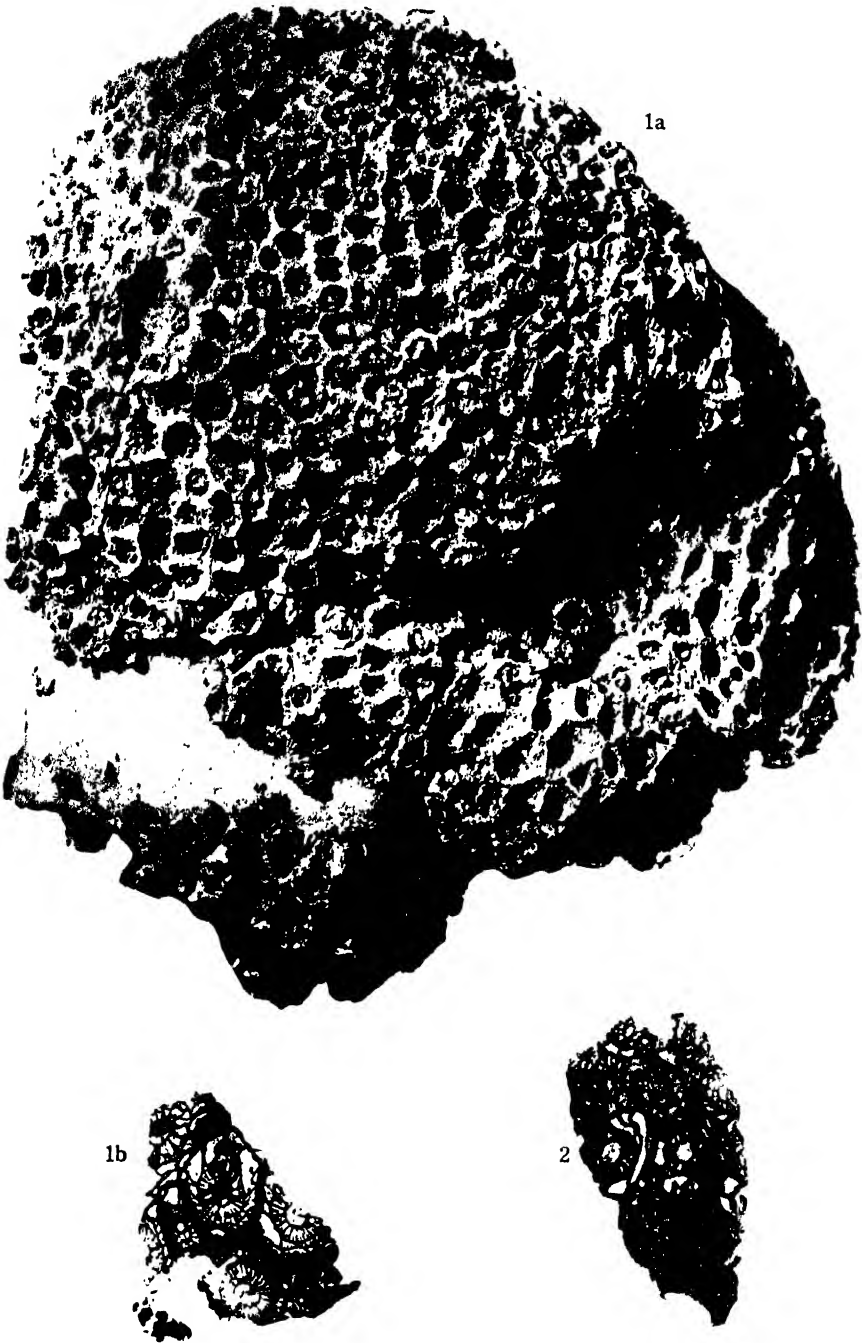
## Plate XVI

Eig. 1. *Lithostrotionella tubifera*, nov. sp. An almost complete corallum from the locality No. 5894 (Crest of the ridge, east of Old Beldy, at the altitude of about 900 feet, Montana). (Type specimen).

a: The specimen, almost nearly natural size.

b: Transverse section of corallites,  $\times 2$ .

Fig. 2. *Lithostrotionella tubifera*, nov. sp. A transverse section of corallites of another specimen, which was found at the locality No. 3290 (Near Lime Spur, Madison co., Montana—Madison limestone),  $\times 2$ .



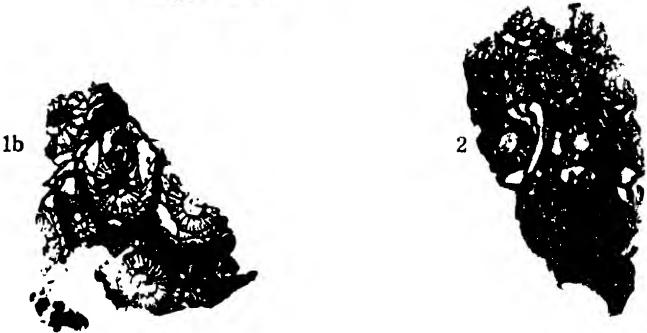
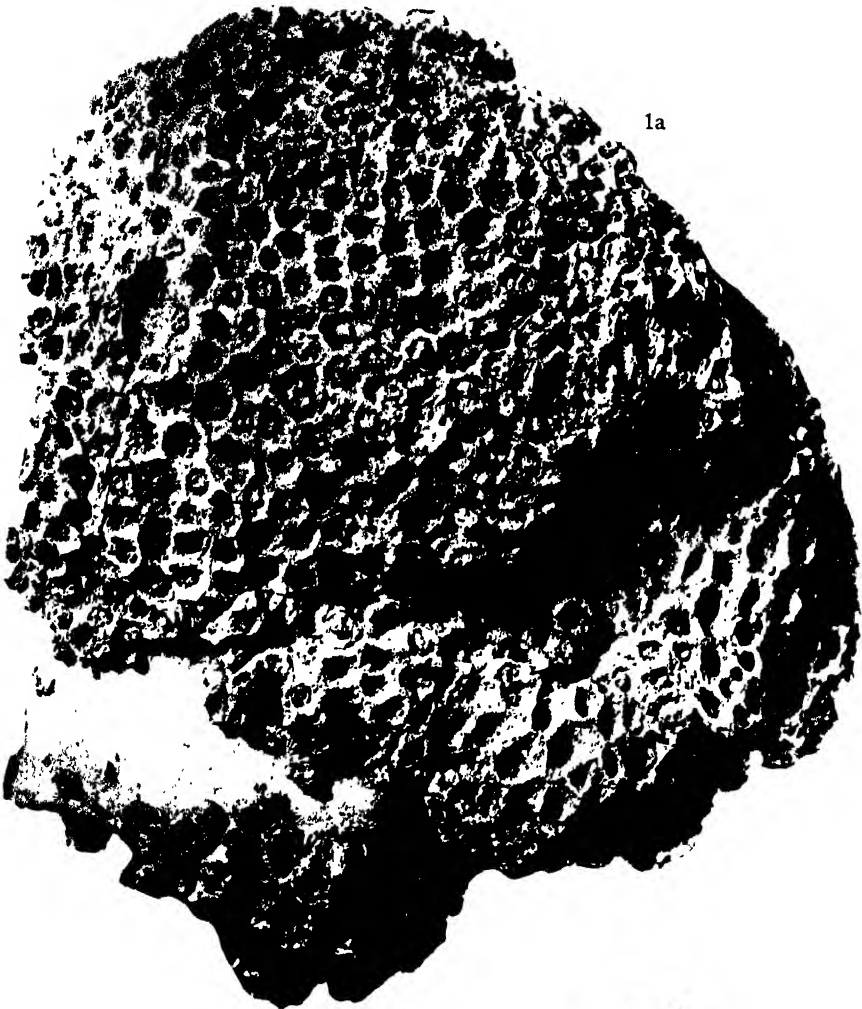
## Plate XVI

Fig. 1. *Lithostrotionella tubifera*, nov. sp. An almost complete corallum from the locality No. 5894 (Crest of the ridge, east of Old Beldy, at the altitude of about 900 feet, Montana). (Type specimen).

a: The specimen, almost nearly natural size.

b: Transverse section of corallites,  $\times 2$ .

Fig. 2. *Lithostrotionella tubifera*, nov. sp. A transverse section of corallites of another specimen, which was found at the locality No. 3290 (Near Lime Spur, Madison co., Montana-Madison limestone),  $\times 2$ .









# GEOLOGICAL INVESTIGATIONS ON ~~SOME~~ CHARACTERISTIC HAEMATITE AND LIMONITE DEPOSITS IN S. HEIAN- DÔ AND KÔKAI-DÔ, CHÔSEN (KOREA)

Takeshi ICHIMURA

With 26 Text-Figures and 6 Plates (XVIII-XXIII)

(Accepted for publication, July 5, 1936)

## CONTENTS

	Page
Introduction... ..	77
Distribution of Haematite and Limonite Deposits ... ..	78
Geology ... ..	81
Metamorphics and Sedimentaries ... ..	83
(I) Granite-gneiss ... ..	83
(II) Metamorphics and Sedimentaries of Syôgen and Chôsen Systems... ..	84
(1) Syôgen System and Chôsen System of the Kaisen District... ..	84
(2) Syôgen System (?) of the Inritu Mine District... ..	87
(3) Chôsen System of the Kokkyô-Tentyû District ... ..	88
(4) Chôsen System of the Kenziho District ... ..	88
(5) Syôgen System of the Ginryû-Tyôzyu-Kasei Dis- trict ... ..	90
(III) Sedimentaries of the Heian System ... ..	92
(IV) Sedimentaries of the Daidô System ... ..	94
(V) Quaternary Sediments ... ..	100
Intrusives and Extrusives ... ..	101
(I) Granite ... ..	101
(II) Diorite Porphyrite ... ..	106
(III) Quartz-porphyry ... ..	108
(IV) Lamprophyre ... ..	109
(1) Kersantite... ..	110
(2) Spessartite ... ..	112
(V) Felsite ... ..	114
(VI) Orthophyre ... ..	114



	Page
(VII) Porphyrite ... ..	115
(VIII) Basalt ... ..	118
(1) Olivine-basalt ... ..	119
(2) Labradorite-olivine-enstatite-basalt ... ..	120
History of Igneous Activity ... ..	121
Considerations on the Tectonic Disturbance ... ..	125
General Features of Haematite and Limonite Deposits ...	128
Haematite and Limonite Deposits of Some Important Mines ... ..	130
(I) Haematite and Limonite Deposits of the Kaisen Mine and its Environs ... ..	130
(II) Haematite and Limonite Deposits of the Inritu Mine ... ..	139
(III) Haematite and Limonite Deposits of the Kenziho Mine and its Environs ... ..	144
(IV) Limonite Deposits of the Kokkyô-Tentyû District	146
(V) Haematite Deposits of the Angaku Mine ... ..	149
(VI) Haematite and Limonite Deposits of the Sainei Mine District ... ..	151
(VII) Haematite and Limonite Deposits of the Ginryû Mine and Vicinity ... ..	159
(VIII) Haematite and Limonite Deposits of the Kasei Mine and Vicinity ... ..	161
Ores and Their Modes of Occurrence ... ..	166
Metallic or Non-metallic Minerals Associated with Iron Ores ... ..	170
Paragenetic Sequence of Ore and Gangue Minerals ... ..	171
Chemical Composition of the Iron Ores ... ..	174
Limestone Containing Ore Bodies and Their Chemical Com- position ... ..	182
The Formation of Residual Clays ... ..	187
The Relationship between Faults and Some Limonite- Haematite Deposits in the Sainei-Angaku District ... ..	191
The Relationship between Ore Deposits and Igneous Rocks ... ..	193
The Temperature for Formation of the Primary Deposits	195
Origin of Haematite and Limonite Deposits ... ..	198
Summary ... ..	204

## INTRODUCTION

The extensive area covering Kôkai-dô (黃海道) and S. Heian-dô (平安南道) is the most important mining district of Chôsen, because a large amount of the mineral production, metallic or non-metallic, is annually supplied from those regions. Among many kinds of minerals, especially predominant are the haematite and limonite ores which are the main iron ores from Chôsen, at present. There are numerous mines, large or small, now in operation or already abandoned, and a vast area has been excavated mostly by open cuts and partly by underground working during the past two decades. The area in these cases are found in the residual clay, as well as in the beds of limestone, shale, clayslate, sandstone, and conglomerate, being associated with siderite, pyrite, and barite. Some of these show similarity to those of Bilbao in Spain, Twinng in the Northern Shan State of India, and Egremont of Cumberland in Scotland. The surface ores are widely distributed in the monotonous hilly lands where various sediments, young and old, are exposed together with various intrusives and extrusives. It is, however, questionable whether the workable ores will hereafter be abundantly found in depth or not. So far as the future iron industry of Chôsen is concerned, it mainly depends upon the production and amount of the preserved ores. Further fundamental studies are, therefore, very necessary to confirm the nature of these deposits, both economically and geologically. They have hitherto been investigated by several geologists, and some papers or reports have already been published about them, but without any definite conclusion.

As to the genesis of the primary ores some geologists formerly attributed it to be of a sedimentary origin, but the nature of the deposits is much different from the sedimentary type in many points. Sometimes they reveal very close relation to the igneous activities followed after the enormous diastrophism of this peninsula.

The writer's attention has particularly been attracted to these interesting points, which started him in his work when he was in Chôsen. The present paper is the summarized results of some geological investigations on the different types of these deposits mainly carried out at that time. The writer is much indebted to the Kenziho Iron & Steel Works, and to Mr. T. KÔNO, and Mr. Y. MORI for the chemical analyses of various kinds of rocks and ores.

### DISTRIBUTION OF HAEMATITE AND LIMONITE DEPOSITS

S. Heian-dô and Kôkai-dô adjoining each other are situated at the northern part of West Chôsen. Both prefectures are partly surrounded by N. Heian-dô (平安北道), S. Kankyô-dô (咸鏡南道), Kôgen-dô (江原道), and Keiki-dô (京畿道), whereas the western and southern sides of this area continue to the Yellow Sea with very complicated coastal lines. The regions are occupied by mountainous or hilly land, being watered by such large rivers as Seisen-kô (清川江), Daidô-kô (大同江), Sainci-kô (載寧江), Reisei-kô (禮成江), etc, and their tributaries.

The haematite and limonite deposits under consideration are distributed in the hilly area composed mainly of the Syôgen System (Pre-Cambrian), Chôsen System (Cambrian-Ordovician), Daidô System (Jurassic-Cretaceous), various kinds of intrusives, and their residual clays.

The geographical distribution of the deposits of these two prefectures are shown in the following list.

Village	County	Prefecture
1. Yôsonri (楊村里), Santô-men (靑島面)	Tokusen-gun (徳川郡)	S. Heian-dô
2. Zyôri (上里), Gosei-men (梧西面)	Zyunsen-gun (順川郡)	"
3. Kadô (下洞), "	"	"
4. Genbeturi (元別里), "	"	"
5. Syôkôri (松興里), Titoku-men (智徳面)	"	"
6. Ryûdôri (柳洞里), Reisen-men (靈泉面)	Seisen-gun (成川郡)	"
7. Hûtôri (風塘里), Kutî-men (區地面)	Kôtô-gun (江東郡)	"
8. Kagori (下五里), Sisoku-men (紫足面)	Daidô-gun (大同郡)	"
9. Hakuganri (白岩里), Ringen-men (林原面)	"	"
10. Zyôitiri (上一里), Daidôkô-men (大同江面)	"	"

Village	County	Prefecture
11. Saidô (齊洞), Seisen-men (西川面)	"	"
12. Syôkakuri (松鶴里), Hurin-men (普林面)	Kôsei-gun (江西郡)	"
13. Gunguri (軍隅里), Gaisei-men (外西面)	Kaisen-gun (仵川郡)	"
14. Unkokuten (雲谷站), "	"	"
15. Hikokuten (碑谷站), "	"	"
16. Bazyôrisekken (馬場里石峴), "	"	"
17. Kintokusan (金鑪山), "	"	"
18. Kyôzyôten (狹上站), Hoku-men (北面)	"	"
19. Sendô (泉洞), Tyûsei-men (中西面)	"	"
20. Seitû-san (正通山), "	"	"
21. Sinkenri (崩峴里), "	"	"
22. Syôkotu-hô (松骨峰), "	"	"
23. Ryûwari (龍和里), "	"	"
24. Ryûkôri (龍興里), "	"	"
25. Ryûnanri (龍難里), "	"	"
26. Go-hô (岩峰), "	"	"
27. En-hô (点峰), "	"	"
28. Tôtdôri (杏島里), Tyûnan-men (中南面)	"	"
29. Zyôrôri (上蘆里), Kokkyô-men (黒橋面)	Kôsyû-gun (荏州郡)	Kôkai-dô
30. Teisiri (亭子里), "	"	"
31. Ryûwari (龍和里), "	"	"
32. Ryûkeiri (龍溪里), Tentyû-men (天柱面)	"	"
33. Keitendô (敬天洞), "	"	"
34. Kuiri (九伊里), "	"	"
35. Naikyôri (内嵯里), "	"	"
36. Tyôsari (長佐里), "	"	"
37. Naitôri (内東里), "	"	"
38. Sinseiri (新井里), Eihô-men (永聖面)	"	"
39. Nankanri (南咸里), Syûnan-men (州南面)	"	"
40. Wadôri (和洞里), Kyûsei-men (九聖面)	"	"
41. Tikutairi (竹埜里), Kyusei-men (九聖面)	"	"
42. Seiunri (青雲里), "	"	"
43. Dôzan (銅山), Seisui-men (清水面)	"	"
44. Keihori (系浦里), Syôrin-men (松林面)	"	"
45. Syôzandô (商山洞), "	"	"
46. Gayôri (峨洋里), Kasei-men (下聖面)	Sainei-gun (載寧郡)	"
47. Naitodô (内土洞), Ginryû-men (銀龍面)	"	"
48. Reiseidô (冷井洞), "	"	"
49. Kaseirin (下西林), "	"	"
50. Yôsendô (楊川洞), Nidô-men (二道面)	Inritu-gun (殷栗郡)	"

Village	County	Prefecture
51. Kokenri (古縣里), "	"	"
52. Tyôren (長連), "	"	"
53. Kinzanpo (金山浦), Hokubu-men (北部面)	"	"
54. Nôson (農村), "	"	"
55. Tyôgari (長芽里), Senketu-men (泉決面)	Kaisyû-gun (海州郡)	"
56. Syakanri (沙串里), Nan-men (南面)	Ôsin-gun (斐津郡)	"
57. Sentori (饒奈里), "	"	"
58. Kyôtôri (瓦沓里), "	"	"
59. Gaizinheiri (外仁坪里), Tô-men (東面)	"	"
60. Tyôsekiri (長石里), "	"	"
61. Gori (五里), Kôsei-men (交井面)	"	"
62. Niri (二里), "	"	"
63. Keiondô (溪音洞), Kaian-men (海安面)	Tyôen-gun (長淵郡)	"
64. Gosyatinri (吾又鎮里), "	"	"
65. Seikitudô (西吉洞), Ryûen-men (龍淵面)	"	"
66. Bisanri (尾山里), Gônán-men (合灘面)	Kinsen-gun (金川郡)	"
67. Byôganri (猫岩里), Hakuba-men (白馬面)	"	"
68. Kakusan-ri (鶴山里), Ankoku-men (安谷面)	Angaku-gun (安岳郡)	"
69. Kinzyôdô (金城洞), "	"	"
70. Zyôtôkuri (上德里), Ryûmon-men (龍門面)	"	"
71. Sekiyôri (石陽里), "	"	"
72. Tôyôdô (東陽洞), "	"	"
73. Goryûsan (五龍山), Bunzan-men (文山面)	"	"
74. Taikinsan (泰金山), Nanritu-men (南栗面)	Sainei-gun (載寧郡)	"
75. Sankokusan (山谷山), Sainei-men (載寧面)	"	"
76. Kyôsan (笠山), "	"	"
77. Sangodô (山後洞), "	"	"
78. Kansanri (漢川里), "	"	"
79. Kinzanri (金山里), Seisen-men (清川)	"	"
80. Tyôsyadô (長含洞), "	"	"
81. Ryûzan (龍山), "	"	"
82. Ekiken (硯峴), "	"	"
83. Miryokugai (末力街), "	"	"
84. Katusandô (葛山洞), "	"	"

The deposits listed above are found in association with the limestone or clayslate of the Syôgen System or Chôsen System (No. 1-No. 67), as well as the shale, sandstone or conglomerate of the Upper Daidô System, and the residual clays derived from these rocks:

they are almost negligible in igneous rocks. Such iron ores are mined at several places such as the Kaisen Mine, Inritu Mine, Kôsyû Mine, Kenziho Mine, Sainei Mine, Ginryû Mine, Kasei Mine, etc., which are well known at present. The annual production from these mines is estimated to be more than 60 percent of the total amount of the iron ores from Chôsen peninsula.

## GEOLOGY

S. Heian-dô and Kôkai-dô are a geologically complicated area. This is particularly remarkable in the iron-bearing districts where varying kind of metamorphics, sedimentaries, intrusives, and extrusives are exposed. Among them gray granite-gneiss is the oldest rock found in the vicinity of the Angaku Mine, Sainei Mine, and Inritu Mine. It is undoubtedly a modification of granitic rocks.

The Pre-Cambrian sedimentaries are represented by the Syôgen (祥原) System. It is younger than gray-granite-gneiss and is a thick accumulation of limestone, quartzite, mica-schist, etc. It is conformably overlaid by the Chôsen (朝鮮) System ranging from Cambrian to Ordovician. Both systems are somewhat similar in lithological character, and therefore they were formerly in general called the Chôsen System. It is, however, entirely free of fossils in its lower strata to which S. NAKAMURA has given the name "Syôgen System" after a close examination of the oldest sedimentaries exposed widely in the Syôgen district of S. Heian-dô. The distribution of this system has not yet strictly been confirmed in the regions under consideration, but it seems that there are some portions to be correlated to the Syôgen System in the so-called Chôsen System of the Kaisen district. It is also very questionable if the limestone, quartzite, clayslate, etc. of the Inritu district really belong to the Chôsen System, because the occurrence of fossils has not yet been found in them. The large exposure of the typical Chôsen system is found at present in the Kenziho, Kaisen, and Kôsyû districts.

In the Kaisen district the Chôsen System is partly covered by the Heian (平安) System whose geological age is Upper Carboniferous

to Triassic, both being in parallel unconformity. The Heian System is mostly made up of terrigenous sediments with abundant plant fossils and many anthracite seams.

The Daidô (大同) System is the still younger Mesozoic compared with the Green Series of the Heian System. It is stratigraphically and also palaeontologically divided into two parts in these districts. The Lower Daidô System is well exposed in the vicinity of Kenziho and corresponds to the Liassic. This formation is also of terrigenous origin, containing plant and animal remains. The exposure of the Upper Daidô System can be seen in the Kenziho, Sainei, and Angaku regions, and it often contains some plant fossils characteristic of the Cretaceous. These two systems are separated from each other by the clino-unconformity.

The igneous intrusions and extrusions took place in close association with the enormous diastrophism. In the Kaisen and Inritu districts sedimentary rocks were much metamorphosed by the granitic intrusion. It is also very noteworthy that iron-bearing areas are sometimes traversed by varying igneous rocks such as quartz-porphyry, lamprophyre, diorite-porphyrite, etc. The Upper Daidô System of Kenziho or elsewhere is extremely complicated by the frequent extrusions of quartz-porphyry, orthophyre, felsite, porphyrite, etc. The tufaceous character of the sediments, furthermore, suggests that such extrusions already began during the deposition of the Upper Daidô System.

Besides these, the iron-bearing districts are strikingly subjected to the enormous folding and faulting, which have probably been repeated three times since the deposition of the Syôgen System. The most conspicuous diastrophism is that which happened in the end of the Jurassic under the lateral pressure. This was followed by the intense igneous activities mentioned above. Many ore deposits, metaliferous or non-metalliferous, are likely to have been formed during this period. Other disturbances took place after the deposition of the Heian System and Upper Daidô System, but they were on a much smaller scale.

## METAMORPHICS AND SEDIMENTARIES

## (I) Granite-gneiss

The oldest rocks of the iron-bearing districts are various kinds of granite-gneiss. They are well exposed in the vicinity of the Angaku, Sainei, Kaisen, and Inritu Mines. The most common type of granite-gneiss is the biotite-bearing variety. It often shows a coarse banded structure due to the alternation of the biotite or quartz-feldspar-rich parts. Such a tendency is particularly marked at Kasinpuku (下新伏), about seven kilometers south of the Sainei Mine. The occurrence of somewhat different types of granite-gneiss is known at Bunzyôri (文城里), Kokenri (古縣里), Kaiseiri (海井里), etc. near the Inritu Mine, where the micaceous part is intercalated by numerous lenses of flesh-colored orthoclase and bluish-gray quartz. The granite-gneiss exposed in the area including Ryôkenri (涼峴里), and Kyûtaidô (舊岱里) of Kasei-men shows a striking schistosity and banded structure (Pl. XVIII. Fig. 1). In these cases biotite is extremely abundant in the alternate bands. Biotite-granite-gneiss sometimes passes into the sericite-rich variety which is usually observed along the enormous fault line extending from the Angaku Mine to the Sainei Mine.

The composition minerals of these rocks are quartz, orthoclase, plagioclase, biotite, muscovite, magnetite, pyrrhotite, zircon, garnet, apatite, rutile, calcite, etc. (Pl. XVIII, Fig. 1). The dominant constituents are quartz, feldspar, and mica. Quartz occurs in a mosaic or interdedented aggregate with a mortal structure, each grain being elongated along the schistosity of the rocks. The strain shadow can be seen in almost all cases. Anhedral orthoclase and plagioclase are mostly found in less abundance than quartz, and plagioclase is always more abundant than orthoclase. The common variety ranges between albite ( $\text{Ab}_{92}\text{An}_8$ ) and oligoclase ( $\text{Ab}_{70}\text{An}_{30}$ ) with the following indices of refraction, viz.,  $n_1=1.532-1.539$ ,  $n_2=1.541-1.547$  on (100). Biotite and muscovite are frequently associated together, both minerals being arranged parallel to the schistosity. The biotite in the specimens from Ryôkenri indicates more or less different pleochroism from



others, viz., X=light yellowish-brown, Y=brown, Z=reddish-brown. The absorption is  $X < Y < Z$ . Index of refraction,  $N_{\gamma} = 1.638-1.644$ . Some flakes include the minute grains of zircon, around which a characteristic pleochroic halo is seen. Magnetite, pyrrhotite, apatite, garnet, and rutile are accessory constituents. All these minerals occur in an anhedral form. Among them, pyrrhotite and garnet are to be seen only in the specimens collected at Ryôkenri. Calcite is a secondary mineral traversing the rock in little veins.

As to the granite-gneisses of the Angaku-Sainei districts, B. Itô, has indicated them to be the marginal facies of the huge granitic mass. There is, however, no such transition between them. So far as is known at present, the granites of these regions are undoubtedly of later intrusion and were injected into granite-gneisses in many places. The geological age of the metamorphics described above is identified with Pre-Cambrian.

## (II) Metamorphics and Sedimentaries of Syôgen System and Chôsen System

### (1) Syôgen System and Chôsen System of the Kaisen District

The oldest sedimentaries associated with some crystalline schists, probably free of fossils, belong to the Syôgen System corresponding to Proterozoic. The occurrence of such a formation is known in the Kaisen district, where whole parts of the Lower Palaeozoic and the lowest horizon of the Middle Palaeozoic classified by S. Kawasaki<sup>1)</sup> are considered to be the Syôgen System. This formation is the alternation of quartzite, mica-schist, mica-clay slate, etc. and its typical exposure can be seen at the south-western corner of the area, particularly on the route between Unkôri (雲興里) and Enhôri (延豊里) along the Kisyû (黒州) River. Among them, the quartzite, from this locality is grayish-white, milky white, and light brown in colour. It is successively exposed along the Kisyû River between Ryûgan (龍岩) and Suika (水ヶ下). Mica-schist and mica-clay slate frequently grade

1) Mineral Resources of Chôsen, Vol. II (South Heian-dô), No. 1, 1913, p. 15.

into one another, having generally a dark green or light green colour in the fresh specimens, but a gray or reddish-brown colour in intensely weathered ones. One of the characteristic features of these slaty rocks is the frequent occurrence of numerous irregular cavities in a parallel arrangement. Limestone is usually represented by a crystalline variety with a dark gray, gray or grayish-white colour. The formation here has a close similarity to the Syôgen System in the Seisen (成川) district.

In this district, the Syôgen System is furthermore overlain by the Chôsen System consisting of mica-clayslate, black clayslate, limestone, etc. in the lower horizon and passing into a thick accumulation of limestone in the upper portion. The slate formation begins to be exposed at Ritugû (栗隅) and is traceable southward across the Kaisen-kô (价川江) and Sôtô-kô (槽桶江). It partly builds up the narrow ridges called Seitû-san (正通山) and Syôkotu-hô (松骨峯). The similar formation is also seen on the hill behind Ryûdenri (龍田里) and along the upper course of the Kisen River. In these cases, the slate formation always exhibits a characteristic topographic feature compared with that of limestone. The most predominant rock of this formation is the biotite-clayslate which has a dark gray colour in the fresh specimen, but gradually gets a greenish colour due to the increase of chlorite in the weathered stage. Some of the rock has a silky lustre. It is often intercalated by thinly cleavable black clayslates and banded limestones, showing a gradual transition between them. Such a black clayslate is usually seen on the ridges between the Kaisen-kô and Sôtô-kô as well as in the vicinity of En-hô and Go-hô. Stratigraphically speaking, this slate formation seems to correspond to the Zyunsen (順川) Clayslate Formation. Under the microscope, biotite-clayslate is a confused aggregate of quartz, biotite, muscovite, chlorite, plagioclase, magnetite, tourmaline (Pl. XVIII, Fig. 2), etc., whereas black clayslate is composed of quartz, muscovite, tourmaline, and rutile with abundant coaly matters.

The limestone formation has an extensive distribution in the Kaisen district. It is mostly made up of massive or banded limestones.

The massive limestone commonly has a grayish-white colour and a somewhat crystalline texture, some of it being closely associated with mica-clayslate beds. The banded limestone is more commonly observed than the massive type, and its uppermost part exposed on the ridge behind Unsinten (雲深站) contains some fossils, such as Crinoid stems, Brachiopods, and Actinoceras. In many respects, the limestone series mentioned above much resembles that of the Inzan (殷山) Limestone Formation.

Besides these, there are some exposures of questionable sedimentaries in the northern part of the area. They are always found together with clayslate and limestone of the Chôsen System. One of these rocks is a conglomerate, and the best exposure can be observed on Kansai-san (乾芝山), where it is highly cliffed along the Kaisen-kô and Sôtô-kô. The conglomerate here mostly contains hard sandstone and quartzite pebbles cemented by slightly reddish sandy materials rich in sericite flakes. It is conformable with limestone at the foot of Kansai-san or elsewhere, and shows a gradual transition to mica-clayslate further southward. The Kansai-san conglomerate bed has been considered by S. KAWASAKI<sup>1)</sup> to be of the Mesozoic, but several stratigraphic evidences suggest that it is probably a local facies of the Zyunsen Clayslate Formation.

Conglomerate is also exposed on the ridge extending from the western slope of Hiko-san (飛虎山) down to Reisentent (靈泉站). It is mostly associated with spotted tuff, sandstone, and shale with a dark reddish colour. Such dark reddish rocks are commonly seen in the northern half of the exposure, and they are believed by R. KODAIRA<sup>2)</sup> to belong to the lowest horizon of the Heian System. These rocks are, however, lithologically much different from the sedimentaries of the Upper Carboniferous, in which ottrelite is always a characteristic mineral. As can be seen on the ridge behind Unsinten (雲深站), the dark reddish shale changes downward into Actinoceras-bearing limestone. In this case, the shale contains many limestone lenses with

1) Mineral Resources of Chôsen, Vol. II (S. Heian-dô), No. 1, 1913, p. 18.

2) Geological Map of the Northern Anthracite Coal-field, S. Heian-dô.

Crinoid stems. They are, therefore, probably of the Chôsen System.

In the Kaisen iron-bearing district, the Syôgen and Chôsen Systems were subjected to the striking tectonic disturbances. Both systems repeat anticline and syncline, changing the strike from N40°E to E-W. They are, furthermore, traversed by fault lines. The disturbance of the Chôsen System is very remarkable in the area including Ryûwari (龍和里), Ryûnanri (龍灘里), Go-hô (岩峰), Sinkenri (薪峴里), and Sendô (泉洞). One example of these is shown by the reappearance of the slate formation on the ridge between Ritugû and Syôkotu-hô where the mica-clayslate forms a recumbent fold, being underlain by the limestone formation.

## (2) *Syôgen System(?) of the Inritu Mine District*

The so-called *Syôgen* System of the Inritu Mine district consists of quartzite, mica-clayslate, and limestone without any fossils. In the lower portion of this formation, quartzite is a predominant rock with a gradual increase of mica-clayslate upward, while the upper horizon alternates with beds of limestone and clayslate. Such transition stages can successively be observed on the hilly land between Ensôzan (鹽倉山), Kinzanpo (金山浦), including Rokudô (勒洞) and Yôsendô (楊川洞). The quartzite is mostly represented by grayish-white, milky-white, and light brownish-gray varieties. The mica-clayslate has a black colour in the unweathered condition, but it is easily decomposed into rock with a bluish-gray, gray, light green, reddish-brown or yellowish-brown colour. Green-coloured clayslate is, under the microscope, an aggregate of quartz, chlorite, sericite with a negligible amount of tourmaline. Most of limestone has a dark gray, gray, and grayish-white colour. There are two types, massive and banded, being partly crystalline and exceedingly rich in diopside, phlogopite, etc. along the igneous contact. The metamorphosed limestone generally becomes porous, when it is subjected to weathering. These sedimentaries commonly have such various inclination as 50°-60° NNW, NW, SSW, etc., limestone being repeatedly folded and dipping steeply in the vicinity of the granite mass.

### (3) *Chôsen System of the Kokkyô-Tentyû District*

The Chôsen Syetem is well developed both in Kokkyô-men and Tentyû-men. Here it is made up of clayslate and limestone. When the limestone is intercalated by clayslate, it is commonly a banded variety with a dark gray or gray colour. Such a type of limestone is mostly found in the intermediate horizon. The massive limestone is, on the other hand, abundant in the upper and lower horizon of the exposure. Most of it has a light gray or gray colour. The writer collected some Actioceras, Orthoceras, Brachiopod, etc. in the banded limestone at Dôson (堂村), and Tôrodô (東麓洞). The presence of such fossils suggests that these limestone beds range from the Inzan Limestone Formation up to the Bantatu (晩達) Series of the Seisen district. The black or light greenish clayslate are predominant in the lower half of the formation.

The limestone and associated rocks indicate a strike of  $N40^{\circ}-60^{\circ}W$  and an inclination of  $30^{\circ}-40^{\circ}SW$  or  $SSW$  in the northern half of the hilly area, whereas they change the strike from  $E-W$  to  $N80^{\circ}E$  in the southern part, dipping  $20^{\circ}-40^{\circ}$  to the north or northnorthwest. The formation seems, therefore, to form here a large synclinal structure with the axis running from east to west.

### (4) *Chôsen System of the Kenziho District*

The Chôsen System is, furthermore, traceable to the Kenziho district, where it is divided into three formations. The lower part is represented by quartzite and clayslate, whereas the middle portion is the thick accumulation of clayslate intercalated by limestone, and the upper horizon is a series of varying kinds of limestone consisting mostly of the mottled, banded, and massive types. Among them, the middle and upper ones are respectively called by S. SHIMAMURA<sup>1)</sup> the Masanri (馬山里) Formation and Maruyama (丸山) Limestone Formation. The lower formation is only exposed at the northern periphery of this area and is quite free of fossils. The characteristic Masanri

1) Geol. Atlas of Chôsen, Geol. Surv. Gov. Gen.Chôsen, No. 8, 1929, pp. 1-2.

Formation is to be seen around the small village called Masanri. The writer collected a Trilobite, *Anomocallera* *cfr. toxus* WALCOTT,<sup>1)</sup> in the dark reddish micaceous shale at the hill side about 500 meters northeast from Masanri. Cryptozoon-bearing limestone is also found in the still lower horizon. Moreover, the thick dark reddish shale or fine sandstone contains, according to T. KOBAYASHI's investigation,<sup>2)</sup> *Obolus chinensis* WALCOTT, *Orthotheca glabra* WALCOTT, *Helcionella rugosa chinensis* WALCOTT (upper portion); *Orthotheca* *sp.*, *Obolus chinensis* WALCOTT, *Redlichia nobilis* WALCOTT (middle portion); *Obolella asiatica* WALCOTT, *Acratrete* *sp.*, *Redlichia chinensis* WALCOTT, *Redlichia nobilis* WALCOTT (lower horizon). Hence, the formation ranges from Middle Cambrian to Lower Cambrian. The Maruyama Formation is divided by KOBAYASHI<sup>3)</sup> into three parts, and the lowest horizon<sup>4)</sup> is particularly rich in fossils. KOBAYASHI obtained numerous fossils at Syôrinri (松林里), Keihori (系浦里), Sindô (新洞), Zenkyôdai (前兄弟), Syundô (椿洞), etc. They are *Syntrophia* *cfr. calcifera* (BILLINGS), *Eoorthis* (?) *coreanica*, *Pterinea* (?) *subsperula*, *Liospira lenticularis*, *Liospira kawasakii*, *Raphistoma ichimurai*, *Helicotoma kanekoi*, *Cyclonema* (?) *sonrinense*, *Clisospira Shoriensis*. *Clisospira chundongensis*, *Straparollus shirakii*, *Ellesmereoceras amplum*, *Wolungoceras foerstei*, *Cameroceras curvatoformis*, *Cameroceras* (*Proterocameroceras*) *mathiewi* GRABAU, *Coreanoceras kemipoense*, *Coreanoceras tenuicurvatum*, *Coreanoceras kokaiense*, *Coreanoceras kini*, *Holopea tateiwai* and a few others,<sup>5)</sup>

The occurrence of fossils is less abundant in the upper and middle portions of the Maruyama Limestone Formation. The common

- 1) T. ICHIMURA: Origin of the Kenziho Iron Ore Deposits Japanese, Jour. Chôsen Min. Asso., Vol. XI, 1923, p. 111.
- 2) T. KOBAYASHI: On the Ordovician Formations in S. Manchuria and N. Chôsen, Jour. Geol. Soc. Tokyô, Vol. XXXVII, 1930, p.82.
- 3) T. KOBAYASHI: Studies on the Ordovician Stratigraphy and Palaeontology of North Korea with Notes on the Ordovician Fossils of Shantung and Liautung, Bull. Geol. Surv. Chôsen, Vol. XI, No. 1, 1931, p. 16.
- 4) T. KOBAYASHI: named it the Syôrin (松林) Bed.
- 5) T. KOBAYASHI: op. cit., 1931, p. 18.

fossils<sup>1)</sup> from the Maruyama limestone-quarry, where the middle part of the formation mentioned above is well exposed, are *Cameroceras*, *Maruyamaceras shimamurai*, *Maruyamaceras watanabei*, *Maruyamaceras* (?) *sp.*, etc. *Ormoceras harioi* (KOBAYASHI) is also obtained from the Bantatusan bed of the Maruyama limestone-quarry. In this case, the Maruyama Limestone Formation is correlated by KOBAYASHI to the Middle and Lower Ordovician.

The alternate beds of clayslate and limestone extend from Maruyama to Tôri (桃里) with a strike of N60° E or E-W and a dip of about 60° SSE or S. These beds are in contact with the Lower Daidô System just in the north of Sangori (山後里), being bordered by a fault between them. They are partly covered unconformably by the Upper Daidô System in the vicinity of Gaibazyô, Enpôri (懸峯里), Naido (内洞), and Tôri.

The Maruyama Limestone Formation is widely distributed on the hills of Tôsanri (棠山里), Keihori, Maruyama, Seiunri (青雲里), Ryûkôri (龍興里) Dôzan (銅山); it is often much disturbed, and the strike changes from N60° W to E-W with an inclination of 60° SSW or S. The northern terminal of this formation is unconformably overlain by the Lower Daidô System, and its western or southern part is covered by the Upper Daidô System.

#### (5) *Syôgen System of the Ginryû-Tyôzyu-Kasei District*

The vast area including Ginryû-men, Tyôzyu-men and Kasei-men is occupied by various kind of metamorphics and sedimentaries, such as quartzite, mica-schist, chlorite-schist, quartz-schist, sericite-quartz-schist, clayslate, limestone, etc. The thick formation composed of these rocks has hitherto been assumed to be of the Chôsen System, because there are prominent quartzite beds in the lowest horizon. It is, however, doubtless they are not of the Yôtoku Series of the Chôsen

1) T. KOBAYASHI: Studies on the Ordovician Stratigraphy and Palaeontology of North Korea with Notes on the Ordovician Fossils of Shantung and Liautung, Bull. Geol. Surv. Chôsen, Vol. XI, No. 1, 1931, p. 19.

**System.** The occurrence of fossils has not yet been known in this formation, although some limestone of the Ginryû Mine is rich in *Cryptozoon* (?).

The exposure of quartzite and allied schistose rocks extends 12 kilometers from east to west in the central part of the area where Tyôzyu-san (長壽山) rises up to 747 meters above the sea-level. The direct contact between this quartzite and overlying formation is obscured by the accumulation of talus deposits and the Quaternary sediments, but the stratigraphical relation suggests that they are likely to have been displaced by faults. Thus, chlorite-schist, mica-schist, clayslate, and limestone are found close to the quartzite at the northern foot of the Tyôzyu-san range, whereas the condition is somewhat different at its southern side. The quartzite is partly branched southeastward from the western end of the main mass. It is conformably overlain by the formation consisting of quartz-schist, sericite-quartz-schist, mica-chist, mica-clayslate, black clayslate, and banded limestone in the vicinity of Kyûgan, Kasei-men.

One of the most predominant rocks in these districts is limestone, which passes into mica-clayslate or crystalline schists downward and clay-slate upward. The limestone can be divided into the massive and banded types with a dark gray, gray or grayish-white colour. The banded limestone is commonly intercalated by a yellowish marly part. The massive variety is frequently dolomitic. Some of this limestone is easily affected by weathering, but some is less sensitive to such a process. As has been mentioned before, the *Cryptozoon* (?) bearing limestone is commonly to be seen at the Ginryû Mine in close association with the banded limestone. *Cryptozoon* (?) of this limestone occur in varying sizes, being usually 4-10 centimeters, but sometimes 50 centimeters in diameter. It has not yet been discovered in the Kasei Mine.

The slate formation shows a local distribution in the northern and southern corners of the area, resting upon the limestone bed with a gradual transition between them. The clayslate originally has a black colour, but mostly gets a reddish-brown or greenish-blue



colour due to weathering. Sometimes, it contains abundant ottrelite crystals, as is indicated by the specimens collected from Tyôdô near the Kasei Mine (Pl. XVIII, Fig. 3). The chemical composition of this rock is shown in the following table. The slate formation lacks any

SiO <sub>2</sub>	57.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25
FeO	5.73
MnO	0.13
MgO	1.04
CaO	0.29
Na <sub>2</sub> O	2.13
K <sub>2</sub> O	5.54
H <sub>2</sub> O	1.89
TiO <sub>2</sub>	0.72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24
SO <sub>3</sub>	1.93

---

Total 100.10

(Anal. Y. MORI)

kind of fossils. As will be understood from the field evidences, limestone and clayslate here are different from those of such regions as Kenziho or elsewhere in the absence of palaeontological evidences. The metamorphics and sedimentaries mentioned above, therefore, correspond to the Syôgen System of the Seisen district.

The structure of the Syôgen System can be investigated by traversing the area from north to south across the Tyôzyu-san range, and the quartzite beds are probably bordered by faults from the exposure of the surrounding hilly land. Moreover, they are intensely folded in many places and form a characteristic anticline at the

northeastern corner. Another exposure of quartzite and associating rocks indicates a dissimilar trend and inclination on the hills between Tangandô (丹岩洞) and Kokuson (谷村): it is probably a detached piece displaced by a fault from the main zone of quartzite.

The overlying beds generally have a steep inclination and are repeatedly folded, changing the strike from N50° E to N80° W. Such a disturbance is remarkable in the limestone of the Ginryû Mine, and very distinct anticline and syncline can be observed between Sensandô (錢山洞) and Naitodô (内土洞). It is also noticed in the limestone and clayslate of the Kasei Mine.

### (III) Sedimentaries of the Heian System

The sedimentaries belonging to the Heian System are found only at the northern end of the Kaisen Mine district. The Heian System

of this area is divided into four series,<sup>1)</sup> viz., Red Series, Lower Coal-bearing Series, Upper Coal-bearing Series, and Green Series. The Red Series is the lowest division characterized by the predominance of a dark reddish or light bluish-green shale and clayslate, being intercalated by hornstone, bluish-gray shale or clayslate, light greenish shale, gray shale, and limestone lenses with small Crinoid stems.

The Lower Coal-bearing Series is mostly built up of clayslate, shale, and sandstone with a black colour. Its lower half generally has a remarkable zone of black clayslate with gray shale, gray sandstone, black shale, and limestone lenses containing *Schwagerina princeps*, Crinoid stems, Coral, etc. It has a tendency to increase in black shale and sandstone upward. The shale and clayslate are sometimes rich in plant fossils and minute chloritoid crystals. Anthracite seams occur in several horizons, the uppermost one being commonly of economic importance.

The Upper Coal-bearing Series is an alternation of black shale and gray sandstone with frequent intercalation of black sandstone, dark gray sandstone, black-clayslate, light greenish-blue sandstone or shale, dark reddish-purple sandstone or shale, and anthracite seams. It is also noteworthy that the rock of the upper horizon occasionally has dark greenish-gray, light bluish-gray, light red, light yellowish-brown colours due to weathering. There are many beds of shale and sandstone with abundant chloritoid crystals. This series also contains varying kinds of plant fossils. The Green Series is a thick accumulation of light bluish-green tufaceous shale and sandstone free from fossils. These four series are conformable to one another and range from Upper Carboniferous to Triassic.

The Heian System of this region is only a part of a large exposure extending to four counties, such as Kaisen, Tokusen, Zyunsen

1) The Heian System is also divided as follows: 1. Kôten Series, 2. Zidô Series, 3. Kôbôsan Series, 4. Green Series. The Kôten Series includes the Red Series and the Lower half of the Lower Coal-bearing Series up to the *Schwagerina*-bearing horizon. The Zidô Series almost corresponds to the upper half of the Lower Coal-bearing Series. The Kôbôsan Series is called the Upper Coal-bearing Series in the writer's field.

and Môsan. It covers the Chôsen System in a parallel unconformity and is subjected to similar disturbance. In the Kaisen district, its structure is well observed in the vicinity of Hiko-san (飛虎山) where it forms a syncline with the axis sinking down eastward.

#### (IV) Sedimentaries of the Daidô System

The Daidô System is also well exposed in the iron-bearing districts under consideration. One of the exposures is known in the northwestern corner of the Kaisen district where it is unconformably underlain by the Heian System or Chôsen System. The Daidô System here has been called the Gungûri Formation,<sup>1)</sup> since there is a type locality in the neighbourhood of Gungûri. As can be observed on the hills near Unkokuten (雲谷站) or elsewhere, it is composed of conglomerate, sandstone, and shale. The conglomerate has a tendency to be predominant in the lower half of the formation. The shale of the lowest horizon is dark gray in fresh specimens, but changes its colour to gray or brownish-gray with weathering. Such an altered shale is used to be crushed into small pieces. Moreover, KAWASAKI<sup>2)</sup> states that some lower shale beds contain marly nodules or layers, being sometimes intercalated by thin coal seams. In this area, the conglomerate partly passes into shale or sandstone and gradually increases its thickness northwestward. The pebbles of this rock are generally shale, sandstone, and quartzite, being cemented by somewhat tufaceous materials or more rarely by micaceous shaly matters with a dark reddish colour. Some of the sandstone or shale pebbles are likely to have originated from the Heian System. The largest pebble is about twenty centimeters across. The frequency of sandstone and shale beds is notably increased in the upper portion of the formation. The sandstone is mostly of arkose type in these cases.

The Gungûri Formation is quite free of fossils, but it is undoubtedly younger than the Heian System, in which the uppermost part

1) T. ICHIMURA: The Kaisen Iron-ore Deposits (Japanese), Jour. Korean Min. Assoc., Vol. X, 1927, pp. 193-197.

2) Mineral Resources of Chôsen, Vol. II (S. Heian-dô), No. 1, 1913, p. 18.

is of the Triassic. In this way, it has some similarities to the Upper Daidô System exposed at the entrance of the Seisen-kô (清川江). The formation is frequently folded intensely with a strike of N40° W, and is not so much disturbed, as is shown by the Heian System.

The Daidô System of the Kenziho district can be divided into two formations, upper and lower, both being unconformable to one another. The lower system consists of conglomerate, breccia, gray sandstone, gray shale, black or dark gray shale, etc. SHIMAMURA<sup>1)</sup> divided it into three formations such as Tyûdô (中洞), Syôrin-san (松林山), and Goson (呉村) in ascending order. However, they do not practically correspond to the writer's classification. There are, at least, four conglomerate beds in three formations. The lowest one contains such pebbles as limestone, quartzite, dark reddish shale, and sandstone. The limestone pebble is particularly abundant among them. The black shale of the lower formation is often fossiliferous, and the occurrence of *Estheria* sp. is known at Sindô (新洞) of Syôrin-men.

The middle formation is characteristically exposed in the vicinity of the small temple called Syôrinzi. Furthermore, various plant fossils such as *Podozamites* sp., *Neocalamites* sp., *Equisetites* sp. etc. were obtained by SHIMAMURA from the shale at Goriboku (吾里木) in Syôrin-men. The upper formation is often rich both in plant and animal fossils. The writer also found *Cladophlebis raciborski* ZEILLER and *Phaenicopsis angustifolia* HEER, together with some bivalves in the black shale of the Goson Beds exposed at Etudô, Zyôdô and near Goson where they were collected from the same bed.

The plant fossils mentioned above suggest that the Lower Daidô System may be the Lias. This exposure is estimated to be about 1,200 meters in thickness.

The Upper Daidô System similarly has conglomerate or breccia beds in its lowest horizon and gradually increases in shale and sandstone upward. In the uppermost part, the predominant sediment is a tuffaceous shale or sandstone in association with porphyrite lavas.

1) Geol. Atlas of Chôsen, Geol. Surv. Gov. Gen. Chôsen, No. 8, 1929, p. 2.

Such geological features can be seen by traversing from the eastern slope of Geppo-san (月峰山) or Naidô of Syôrin-men to Kenziho. The conglomerate has abundant pebbles of limestone and quartzite cemented by calcareous substances. In a little upper horizon, this passes into a different type of conglomerate rich in the quartzite pebbles with a milky colour. The best exposure of the Daidô System is to be seen at the eastern slope of Geppô-san. Here, it is beautifully stratified in the following ascending order, viz., (1) breccia and conglomerate, (2) conglomerate and dark reddish shale, (3) alternate beds of reddish shale and sandstone, (4) dark reddish micaceous shale and coarse sandstone, (5) dark reddish micaceous sandy shale, and dark gray micaceous sandstone. The conglomerate of the lowest horizon is sometimes absent, as in the case of the exposure between Gusuidô (具水洞) and Zidô (寺洞) near Kinzan (金山) of Kyûsei-men (九聖面). In this area, it has a black shale bed at the bottom and grades upward into (1) coarse sandstone, (2) black shale, (3) concretion-bearing shale, (4) tufaceous conglomerate, (5) coarse sandstone and micaceous fine sandstone, (6) reddish-brown brecciated tuff, (7) reddish-brown micaceous coarse sandstone, etc. in order. Porphyrite lavas are usually found in the upper portion of the formation. The sandstone of this formation is mostly of the arkose type.

Under the microscope, it is commonly composed of quartz, orthoclase, microcline, plagioclase, muscovite, chlorite, magnetite, haematite, limonite, zircon, rutile, apatite, epidote, tourmaline, calcite etc. Its reddish colour is due to the abundance of haematite, limonite, and weathered orthoclase. The dark reddish shale is generally rich in muscovite together with angular quartz, orthoclase, microcline, plagioclase, rutile, chlorite, calcite, magnetite, haematite, limonite, etc.

One of the characteristic geologic features of the Upper Daidô System in this district is the frequent association of porphyrite lavas and accordingly, the predominance of the tufaceous rocks. Although fossils have not yet been found here, the formation undoubtedly corresponds to the lower part of the Upper Daidô System of the neighbouring regions. It is called the Geppô-san Beds and corresponds to

the Goryû-san Formation named by SHIMAMURA,<sup>1)</sup> its geological age being the Cretaceous.

In these two systems, the lower one usually has a strike of N40°-60° E and a dip of 30°-50' NW or NNW. Its eastern end is displaced southeastward by a fault between Etudô (越洞) and Kadô (下洞). The upper system is especially disturbed in the southwestern corner of the area, but it mostly inclines 30° or thereabouts to the west or northwest with a strike of N-S or N20° E.

The Upper Daidô System is more extensively distributed in the Angaku-Sainei district. Here, it is partly of a still upper horizon than that of the Kenziho district. In the vicinity of the Angaku Mine, the Upper Daidô System extends from northnorthwest to southsoutheast in contact with granite-gneiss and is divided into three parts. The succession of the beds can be observed from east to west. The lower portion, as can be seen somewhere near Kenziho, consists of calcareous conglomerate, breccia, dark reddish shale, dark gray shale, gray sandstone and dark gray limestone, some of these rocks containing imperfectly preserved plant remains. The porphyrite flows are absent in this area. The lower conglomerate are sometimes rich in such pebbles as quartzite, limestone, sandstone, shale, and porphyrite, but it is noteworthy that there are no pebble of granite-gneiss. The best exposure is known at Goryû-san, and therefore, it is named the Goryû-san Formation. The middle portion, which is the Kanpô-san Formation in SHIMAMURA's<sup>2)</sup> classification, is chiefly the alternation of gray shale, sandstone, and limestone, with the frequent intercalation of black shale and dark reddish tufaceous shale. The plant fossils found in shale are *Frenelopsis* *cfr. perceramosa* FONTAINE, *Frenelopsis occidentalis* HEER, *Odozamites* *sp.*, etc. It grades into the upper formation, viz., Honanri (浦南里) Formation,<sup>3)</sup> close to the Sainei-kô (戦寧江).

The upper formation is mostly composed of shale and sandstone. The sandstone has a dark gray or light brown colour, some of

1) Geol. Atlas of Chôsen, Geol. Surv. Gov. Gen. Chôsen, No. 8, 1929, p. 2.

2) & 3) Geol. Atlas of Chôsen, Geol. Surv. Gov. Gen. Chôsen, No. 8, 1929, p. 2.

it being conspicuously feldspathic. The black shale sometimes contains abundant minute flakes of muscovite. The upper part of this formation is also characterized by the occurrence of *Frenelopsis occidentalis* HEER, *F. perceramosa* FONTAINE, *Brachyphyllum* cfr. *spinosum* SEWARD, *Pinus* sp., etc. They are, therefore, undoubtedly of the Cretaceous Period.

Both the lower and middle formations can be traceable further southward to the Sainei district. They are mainly represented by tufaceous conglomerate, sandstone, and shale alternately bedded. In the western part of the Sainei-kô basin, conglomerate is generally exposed along the periphery, passing into the shale and sandstone beds upward. Hence, conglomerate gradually decreases eastward with a corresponding increase of shale in the area including Ennairi (垣内里), Sinkanri (新串里), Kanpo-san (漢峰山), and Ryûsyôri (龍沼里). The conspicuous exposure of conglomerate between Kokusui-ho (國水峯) and Kyôsan (筥山), on the other hand, changes into the alternate beds of sandstone and shale, when it is traced along the strike. Such a relation can be seen on the hills or along the valleys of Kokusui-hô, Zyôkindô (上金洞), Seisyûsan (西舟山), and Ryokuri (緣里). A similar transition is known on the way from Hôsenri (蓬泉里) or Sekihôsan (石峰山) to Kaisyôri (海昌里). From this point of view, the shale beds exposed along the water supplying trench at Kaisyôri or its vicinity are likely to correspond stratigraphically to those consisting of conglomerate, sandstone, and shale in the neighbourhood of Hôsenri and Sekihôsan.

Among varying kinds of rocks mentioned above, the conglomerate is an aggregate of rounded or subangular pebbles of quartzite, limestone, porphyrite, shale, and sandstone cemented by tufaceous sandy materials: they are 5-6 centimeters in their maximum diameter. In the fresh specimens, the matrix has a dark gray or gray colour, which changes to brown or grayish-brown in weathering. The conglomerate traversed by innumerable haematite veinlets can be seen at Kokusui-hô or elsewhere. This case much resembles that of the Angaku Mine. The sandstone is almost always tufaceous or calcare-

ous. The rock passes into conglomerate or shale in many places. As is shown by shale, it originally has a dark gray or gray colour, but is soon weathered to a yellowish-brown rock. Both conglomerate and sandstone are sometimes extremely silicified. This seems to have been caused by a hydrothermal process or contact metamorphism due to the igneous intrusion. Such examples are commonly to be seen at Kagan (花岩) near Kokusui-hô, Ekiken (驛峴), Sekihôsan (石峰山), Gaisei (艾井), Taikinsan (泰金山), etc. In these places, some of the siliceous rock with a porous structure is probably derived from conglomerate, whereas the others are undoubtedly a modification of sandstone. The former case is more or less similar to the quartzite of Fusan (巫山) near Maruyama of the Kenziho Mine.

The fresh shale is commonly dark gray or black in colour which is often gray, bluish-gray, yellowish-brown, and grayish-brown in the weathered specimens. The weathered shale is apt to be broken into small pieces. It is traversed by many calcite veins and contains calcite masses of varying sizes at Kaisyôri. Such a shale has a white colour probably due to the hydrothermal alteration, as can be observed at Kyôsan, Sankokusan (山谷山), and other places.

The Upper Daidô System of the Angaku-Sainei district was displaced downward by the fault extending from almost NNW to SSE. Its western side is thus bordered by a large exposure of granite-gneiss and granite. The system indicates various strikes and inclinations from place to place. In the Angaku Mine and its neighbourhood, it is remarkably folded, but seems to have been less disturbed close to the Daidô-kô (大同江). Although the lower part of the system exposed along the fault line generally changes its strike from N-S to N30° E, being much complicated by folding, most of its upper portion gently inclines eastward with a strike of N20° E to N20° W along the Sainei-kô. The system is found in a different strike ranging from N20° E to N70° W at Yatôri, Kaisyôri, Hôsenri, Kyôsan, and Gôsen (蛤川) where it has a dip of 10°-40° WNW or NNW. The structure is still more disturbed at Sankokusan (山谷山), being traversed by many faults with the trends of N 20°-30° E or E-W.



As will be expected from the displacement of the Upper Daidô System, at Hôsenri and Sankokusan, there may be some small fault lines running from east to west close to a village called Dôgû (堂隅). The similar type of displacement is also expected between Sangodô (山後洞) and Kyôsan. A local exposure of the Pre-Cambrian(?) limestone at Hamaguriyama (蛤山) seems to have been brought up by the step faults which have a trend of north to south. An enormous limestone mass seen at the central part of the Sainei Mine is likely to have appeared by a fault extending from east to west at the southern terminal of the Mine. In this area, the conglomerate, sandstone, and shale of the Upper Daidô System vary their strikes between N60° E and E-W, inclining 20'-60' to the northnorthwest or north. These rocks indicate a dip of 20'-60' NNW to N in the hilly area including Kokusui-hô, Seisyûri, and Syôganri (松岩里), but generally incline 10'-30' to the east in the further south. They are probably displaced at the west of Fudô (富洞). The local appearance of limestone at Myôdô (妙洞) and Katusandô (葛山洞) is also due to faults.

The Upper Daidô System is traceable further southward to the opposite side of the Ginryû-Mine where it is well exposed on the hills between Sôsôn (倉村) and Reiseidô (冷井洞). It is built up of black shale and gray tufaceous sandstone in association with porphyrite lavas, corresponding to the Kanpô-san Formation of other districts.

#### (V) Quaternary Sediments

The Quaternary sediments are represented by younger or older fluviatile deposits. The older one rests upon the terraces distributed sporadically in the iron-bearing districts under consideration. The most remarkable example can be seen at the northern and southern sides of Tyôzyu-san of the Ginryû-Kasei district. Here the sediments are composed of gravel and sand covering the limestone of the Syôgen System. Such gravel beds are usually found on the flat surface, sixty to eighty meters high above the present river bed.

The younger fluviatile deposits show an extensive distribution

particularly along the Sainei-kô of the Sainei-Angaku district. They are always an alternation of clay, sand, and gravel.

### INTRUSIVES AND EXTRUSIVES

The igneous rocks found in the iron-bearing districts are granite, diorite porphyrite, quartz-porphyry, felsite, orthophyre, lamprophyre, porphyrite, and basalt.

(I) **Granite** :—One of the most important intrusives is the granite and its allied rocks which are exposed at the northern end of the Kaisen district as well as the Inritu, Sainei, and Kasei Mines. The granite of the Kaisen district is widely distributed in the area surrounding Zinkôri (仁興里) and Kaisen (价川), intruding into the limestone beds of the Chôsen System and also the Heian System up to the Green Series. The shale and sandstone of the Heian System are intensely metamorphosed along the contact. It is divided into three varieties, such as biotite-granite, hornblende-biotite-granite, and biotite-hornblende-granite. The granitic mass passes into grano-diorite and, frequently, quartz-diorite in its peripheral part.

Among them, biotite-granite generally has a coarse granular texture and is occasionally rich in microcline and perthite. Besides these, it is composed of abundant quartz, andesine, labradorite, and a minor amount of magnetite and zircon. The perthetic intergrowth is to be seen both in orthoclase and microcline, in which patches are always plagioclases belonging to andesine or labradorite.

Hornblende-biotite-granite and biotite-hornblende-granite are represented by coarse- to medium- grained varieties. The prominent minerals are quartz, orthoclase, plagioclase, biotite, and hornblende with an accessory occurrence of magnetite, titanite, apatite, tourmaline, etc. The plagioclase is andesine or labradorite which are sometimes contained in orthoclase as irregular patches, resulting in a characteristic perthetic intergrowth. The anhedral crystal of orthoclase is frequently surrounded by minute crystals of plagioclase. In these cases, some plagioclases are found in a confused aggregate, filling up the inter-

stices of the crystals. Orthoclase mostly takes a fresh appearance, whereas plagioclase commonly changes into an aggregate of sericite in its interior. Hornblende shows the following pleochroism: X=yellow, Y=yellowish-green, Z=green or bluish-green. The crystal twins on (100). Biotite is partly chloritized, the fresh one being strongly pleochroic, viz., X=bright yellow, Y=dark yellowish brown, Z=dark brown. The absorption is  $X < Y < Z$ . This mineral is apt to be associated with hornblende. Granular iron ores, apatite, and titanite are sometimes included in hornblende and biotite.

Granite is the most important rock in the Inritu Mine district. The common variety is a porphyritic biotite-granite and is extensively exposed at the east or south of the area. There is a gradual transition to a porphyritic biotite-hornblende-granite. Hornblende-bearing variety is less abundant. Such granites are in contact with limestone at Nôson (農村) and Sinrisei (新梨井), resulting in a striking metamorphism. The granite here is considered to be much younger than granite-gneiss. The most characteristic feature of this granite is the abundance of large phenocrystic orthoclase and perthetic intergrowth in it. The largest crystal is 3-4 mm. in longer diameter, and some of it is euhedral. This granite is composed of quartz, orthoclase, plagioclase, biotite, hornblende, zircon, apatite, magnetite, titanite, etc. Plagioclase ranges from basic oligoclase to acidic andesine. Its indices of refraction on (001) is  $n_1=1.541-1.546$  and  $n_2=1.549-1.553$ , corresponding to  $An_{74}An_{26}-Ab_{63}An_{37}$  in composition. It mostly follows the Carlsbad or albite law of twinning and is well zoned. Minute patches of such a plagioclase are sometimes arranged in orthoclase crystals and reveal a perthetic intergrowth. Moreover, some of it is intergrown with quartz, and a granophyric or myrmekite-like texture is formed in this case. The frequency of these intergrowths is a characteristic feature of the porphyritic biotite-granite.

Orthoclase is more predominantly present than plagioclase; this mineral makes up the main portion of the rock together with quartz. The phenocrystic crystal commonly contains minute pieces of plagioclase and biotite, rarely in association with green hornblende. Ortho-

clase has a fresh appearance compared with plagioclase. Quartz shows a mozaic aggregate and wavy extinction. Biotite belongs to the common variety with a pleochroic scheme from yellow to dark brown and is partly altered to chlorite. Iron ores are mostly associated with biotite. Apatite and zircon are found in a granular or prismatic form. Besides these, there is a light brown mineral with a purplish shade. It occurs in a stout prismatic crystal and has an imperfect cleavage parallel to the longer axis. The crystal is occasionally characterized by a distinct zonal structure. Its pleochroism varies from light yellow to purplish brown, and the indices of refraction are much higher than biotite intergrown with it. A pleochroic halo is to be seen along the contact between them. This mineral is identified with allanite.

In the Inritu Mine there is, furthermore, muscovite-granite exposed in the neighbourhood of the ore body of Nigôyama (二號山), where it was intruded into limestone as a sill or dyke. The granite in a sill form is only 30 centimeters in width and belongs to a fine-grained variety rich in muscovite. In addition to muscovite, the constituent minerals are quartz, microcline, plagioclase, magnetite, zircon, and garnet. The abundance of garnet is a characteristic of this granite. Plagioclase is less abundant than orthoclase, most of it being more or less sericitized and showing thin twinning lamellae of the albite type. The indices of refraction are  $n_1=1.533$ ,  $n_2=1.542$  on (001) and indicate that this plagioclase is an acidic oligoclase with the composition of  $Ab_{88}An_{12}$ . Orthoclase occurs as large crystals, in which there are many patches of plagioclase, as in the case of porphyritic biotite-granite mentioned above. Compared with these feldspars, microcline is less abundantly present. The amount of biotite is generally negligible, while muscovite is a very common mineral. It includes zircon crystals, around which a pleochroic halo can be seen. Garnet is scattered here and there in only an accessory amount. The largest grain is 0.35 mm. in diameter.

A somewhat different type of muscovite-granite forms a dyke at the southern corner of Nigôyama, cutting the limestone bed. It con-

sists of quartz, orthoclase, microcline, muscovite, rutile, magnetite, etc. The rock is intensely subjected to the hydrothermal alteration, and some feldspars, especially orthoclase, are changed into a confused aggregate of sericite scales. Microcline, however, keeps a fresh aspect. Muscovite flakes are mostly twisted and therefore, exhibit an undulatory extinction. Quartz and feldspars are present in nearly the same quantity. It is entirely free from garnet, plagioclase, and zircon.

Granite is also widely exposed in the Sainei Mine district where it is bordered by a fault from the Upper Daidô System. Its northern end begins to be exposed at Sekitôri (鵜島里) of Seiko-men (西湖面) and extends to Ennairi of Seisen-men (清川面). The exposure is about 14.5 kilometers in length and about 4 kilometers in the maximum width. The western side of this exposure is in contact with granite-gneiss. In this case, the latter is undoubtedly intruded by the former. It is mostly biotite-granite or two mica-granite which locally grade into muscovite-granite. Such a transition can be observed on the ridge rising up between Sainei and Taima (大森). The granite here is a medium-grained or coarse-grained variety and gradually gets a gneissic structure. Sometimes, it is associated with felsitic rocks at the peripheral part. It is remarkably sheared close to the fault and the exposure of the Upper Daidô System; it is always rich in sericite scales. In such cases, these granites often contain some schistose rock with a bluish-gray colour and are traversed by numerous quartz veins. Furthermore, there are minor exposures of a granitic rock injected into the Upper Daidô System of the Sainei Mine.

The granites of the Sainei Mine district have such composition minerals as quartz, orthoclase, plagioclase, microcline, biotite, muscovite, magnetite, ilmenite, apatite, tourmaline, zircon, titanite, chlorite, leucoxene, sericite, limonite, etc. (Pl. XVIII, Fig. 4). One of the remarkable features of these granites is the frequency of the granophyric or myrmekite-like texture, common to the porphyritic granite from the Inritu district. Among various minerals, plagioclase belongs to oligoclase and labradorite with composition of  $Ab_{44}An_{16}$  to  $Ab_{73}An_{27}$ .

as is shown by its indices of refraction, viz.,  $n_1=1.536-1.542$ ,  $n_2=1.540-1.549$ . It is found less abundantly than orthoclase. Small patches of plagioclase are occasionally seen in orthoclase crystals, both minerals forming a perthetic intergrowth. They are sometimes intensely sericitized. The occurrence of microcline is not so frequent as orthoclase and plagioclase. Quartz takes a polygonal form and is always notably sheared. A cataclastic texture is to be observed in an aggregate of this mineral and feldspars.

In most of the granite here, except those near the fault, biotite is more plentiful than muscovite. It is strongly pleochroic from light yellow (X) to dark brown with a slightly reddish shade (Y or Z). The biotite in the granite from Taima is traversed by abundant sagenite. Zircon occurs in a granular form and is always surrounded by a pleochroic halo in biotite. In some specimens, apatite is frequently present, whereas tourmaline is a rare mineral in almost all cases. Moreover, there is an accessory mineral quite similar to allanite in the granite from the vicinity of Syôma (小麻). The crystal has a prismatic form, 0.1 mm. or thereabouts in length. It is strongly pleochroic from light violet to light yellow or nearly colourless, being characterized by high indices of refraction and bright birefringence. Its extinction angle,  $X \wedge c$ , is about  $20^\circ$ , and the optical character is negative.

Remarkably sheared granites along the fault are chiefly made up of quartz, orthoclase, plagioclase, biotite, and muscovite together with a minor amount of magnetite, rutile, zircon, chlorite, leucoxene, limonite, etc. Quartz crystals are somewhat flattened and are arranged in a parallel direction. Plagioclase belongs to andesine or labradorite which often forms a granophyric texture with quartz and orthoclase. Beside, a granular mineral resembling monazite is seen in the specimens from near Kokusui-hô.

The occurrence of granite is similarly known in the Kasei Mine district. Its exposure is traceable on the hills between Tangandô (丹岩洞) and Hakken (白峴). The eastern side is directly in contact with the Tyôzyu-san quartzite or mica-schist and mica-clay slate of

the upper horizon, while the western margin is bordered by biotite-granite-gneiss. It is also noticeable that the quartzite of this place is associated with quartz-schist along the contact. The transition of non-schistose granite to schistose varieties can be observed in many places. Non-schistose granite is mostly a medium-grained type and is well exposed at Kensonri (検村里), Syakidô (沙器洞), Karendô (佳輦洞), and Kyûtaidô (舊埜洞). Under the microscope, constituent minerals are represented by quartz, orthoclase, plagioclase, microcline, biotite, muscovite, magnetite, titanite, and apatite in association with such secondary minerals as chlorite, sericite, and epidote (Pl. XIX, Fig. 1). Plagioclase is commonly andesine and is particularly abundant in the specimens from Karendô. Orthoclase is always an essential mineral of this rock and often occurs in a perthitic intergrowth with plagioclase. When quartz is intergrown with plagioclase, a granophyric texture results. Microcline and biotite are commonly present, but muscovite is less abundant. Magnetite and biotite are apt to be found together. Prismatic or granular apatite and titanite are rarely seen. The sericitization of feldspars is not noteworthy in most cases.

(II) **Diorite-porphyrite**:—Diorite-porphyrite is a remarkable hypabyssal rock in the area of limestone and clayslate carrying iron-ore bodies. The best exposure can be seen at Suika (水ヶ下) and Santei (山亭) of the Kaisen district as well as at Tyôjô (長洞) near the Kasei Mine. The former was injected into limestone as dykes closely associated with other hypabyssal rocks, whereas the latter cuts the clayslate formation which is underlain by thick limestone beds. They are always represented by biotite-diorite-porphyrites with a nearly similar petrographical character. The diorite porphyrites are usually gray, dark gray, and greenish-gray in colour, being composed of plagioclase, biotite, orthoclase, quartz, magnetite, apatite, rutile, and such secondary minerals as chlorite, calcite, leucoxene, sericite, limonite, etc. (Pl. XIX, Fig. 2). Among these, plagioclase and biotite are found as phenocryst as well as in the groundmass. The phenocrystic plagioclase occur in a tabular or rectangular form; the largest crystal

is 5 mm.  $\times$  4 mm. in size. Some of it is repeatedly zoned without any regular decrease of basisity outward. The indices of refraction measured on (001) are  $n_1=1.542-1.546$   $n_2=1.549-1.553$ , and therefore, this plagioclase ranges from basic oligoclase ( $Ab_{71}An_{29}$ ) to acidic andesine ( $Ab_{63}An_{37}$ ). The tabular or granular plagioclase is also an important constituent in the groundmass, where it is occasionally found in association with orthoclase and quartz, yielding a micropegmatitic or micrographic texture. The indices of refraction are  $n_1=1.534-1.538$ ,  $n_2=1.543-1.546$  on (001) and suggest that this plagioclase has a composition between  $Ab_{86}An_{14}$  (oligoclase) and  $Ab_{81}An_{19}$  (oligoclase). It is sometimes surrounded by a narrow rim of orthoclase. Orthoclase is less abundantly present than plagioclase, taking a tabular or granular form in a confused aggregate of various minerals. Both orthoclase and plagioclase are sometimes sericitized. Granular quartz occurs in small quantities and fills up the interstices of other minerals. Biotite commonly takes a tabular or flaky form: the largest phenocryst is 3 mm. in larger diameter. Minute scaly crystals are scattered over the groundmass. The mineral exhibits the following pleochroic scheme, viz., X=light yellowish-brown, Y=dark brown, Z=dark brown with a reddish shade. The absorption is  $X<Y=Z$ . It frequently contains apatite, magnetite, and rutile needles, etc. and is partly chloritized. The stout prismatic or granular apatite is a common accessory mineral, particularly in the specimens from Suika and Tyôdô. It is 0.68 mm. in the maximum length. Small dots of magnetite are also seen in the groundmass together with biotite. Calcite was derived from plagioclase: leucoxene and limonite are the alteration products of titaniferous magnetite or biotite.

The result of chemical analysis of diorite-porphyrite from Suika and Tyôdô is shown in the following table.

	(1)	(2)
SiO <sub>2</sub>	65.59	65.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.71	15.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.26	0.75
FeO	2.13	3.85
MnO	0.24	0.19
MgO	1.70	1.53
CaO	1.04	2.18
Na <sub>2</sub> O	3.72	5.75
K <sub>2</sub> O	6.92	3.93
H <sub>2</sub> O	0.75	0.72
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.33
SO <sub>3</sub>	0.86	0.89
Total	100.65	100.94
(Anal. K. MORI)		

(1) Biotite-diorite-porphyrite from Suika

(2) Biotite-diorite-porphyrite from Tyôdô



(III) **Quartz-porphyry**:—Quartz-porphyry is found in many places of the iron-bearing districts. It forms dykes or stocks in the area including Kintokusan (金徳山), Hisekiten (碑石占), Unsinten (雲深占), Reisenten (靈泉占), Yôdô (陽洞), Kanzyôten (澗上占), and Katen (下占) of the Kaisen district. The largest dyke traverses the conglomerate formation exposed on the hill behind Shinkenri (新峴里) to Tyûseimen (中西面) where it is traceable about 1,000 meters northwestward and is more than 150 meters in the widest part. Another pronounced one is visible in the limestone exposure near Sendô (泉洞), cutting No. 4 outcrop of Seitû-san (正通山) and extending about 1,000 meters northeastward.

Quartz-porphyry is also exposed at Tôri (桃里), Naidô (内洞), Ryûgan (龍岩), Sindô (新洞), Saiyôdô (載陽洞), etc., of the Kenziho district. It is likely to have been extruded through the Upper Daidô System. Moreover, there are some small exposures of this rock at Zyôsyôdô (上抄洞) and elsewhere of the Kasei district.

The rock belongs to biotite-quartz-porphyry or hornblende-biotite-quartz-porphyry: the former is more predominant than the latter which is distributed only in the hilly area near Kenziho. The quartz-porphyry from near Sinkenri, Suika, and Seitu-san has a gray colour and contains such constituent minerals as orthoclase, plagioclase, quartz, biotite, magnetite, apatite, and zircon together with rutile, chlorite, sericite, leucoxene, calcite, etc. (Pl. XIX, Fig. 3). Among them, phenocrystic minerals are quartz, orthoclase, plagioclase, and biotite. The specimens collected at Saiyôdô, Ryûgan, Naidô, and Tôri are similar to those from the Kaisen district in mineral composition except that some of these rocks contain hornblende. The biotite-quartz-porphyry exposed at Zyôsyôdô (上抄洞) shows a white or grayish-white colour and is intensely subjected to weathering. Phenocrystic quartz mostly takes a rounded form, and it is sometimes invaded by groundmass. Some of it is surrounded by a narrow rim consisting of quartz, feldspar, and sericite, as is shown in the specimens from Seitû-san. The crystal not infrequently indicates a strain shadow, and the largest one is 5 mm. in diameter. Quartz also oc-

curs abundantly in the groundmass, forming a microgranitic aggregate with feldspars and other ingredients. Both orthoclase and plagioclase are not only important minerals as phenocrysts, but as ingredients of the groundmass. Phenocrystic feldspars are mostly rectangular in form. Most of these are subhedral or anhedral, the longer diameter of the largest crystal being 3.5 mm. in orthoclase, but 2.5 mm. or thereabouts in plagioclase. The frequency of these minerals are quite variable. In certain cases, orthoclase is less abundant than plagioclase. The phenocrystic plagioclase is more common in the specimens from Suika than others. In all cases, plagioclase is well zoned and is twinned after the albite, Carlsbad or pericline laws. The indices of refraction are  $n_1=1.532-1.545$ ,  $n_2=1.541-1.552$ . Therefore, it corresponds to basic albite or acidic andesine ranging from  $Ab_{91}An_9$  to  $Ab_{65}An_{35}$  in composition. Orthoclase and plagioclase are partly altered to sericite or calcite. Biotite mostly occurs as phenocryst which is often euhedral in its form. The crystal shows a strong pleochroism: viz., X=light yellowish brown, Y=Z=dark brown. In the altered rock it is generally chloritized with the production of such secondary minerals as rutile and leucoxene, preserving its original crystal form. Some biotite is rich in sagenite. Hornblende, if present, is not so frequently found as biotite and alters into a confused aggregate of chlorite and sericite. Apatite, zircon, and magnetite are scattered over the microgranitic groundmass in a minor quantity.

SiO <sub>2</sub>	69.22
Al O <sub>3</sub>	13.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05
FeO	2.27
MnO	0.06
MgO	0.91
CaO	1.69
Na <sub>2</sub> O	4.37
K <sub>2</sub> O	5.69
H <sub>2</sub> O	0.33
TiO <sub>2</sub>	0.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10
SO <sub>3</sub>	0.75
CO <sub>2</sub>	0.68
Total	100.08

(Anal. Y. MORI)

Biotite-quartz-porphry from Sinkenri of the Kaisen Mine.

(IV) **Lamprophyre** :—The occurrence of lamprophyre is a characteristic feature in the iron-bearing districts in connection with the intrusion of other hypabyssal rocks. In the Kaisen district, kersantite is more commonly seen than spessartite: these rocks sometimes show a gradual transition within the same sill or dyke. Some notable dykes

of kersantite are found in the limestone area of Santei (山亭) and Zyundô (鴉洞) near Syôkotu-hô. In the former case, it is closely associated with diorite porphyrite. The limestone beds exposed at Suizyô (水上) and Sendô (泉洞) have been injected by kersantite and spessartite, about 2,000 meters in the total length, are traceable southward on the hill near Syodôten (書堂站) of Tyûsei-men (中西面).

A large dyke of lamprophyre extending from the north of Tyûyudô (中輪洞) to the Sainei-kô is about 200 meters in the broadest part and is 3,000 meters or more in length. The rock here belongs to spessartite or partly kersantite.

Lamprophyre is also frequently seen in the area including Nansidô (南支洞), Tyôdô (長洞), Hyakudai-san (百代山), Rôsondô (浪村洞), and Tôbandô (東盤洞). It is a spessartite intruded as a dyke or sill.

(1) Of these, kersantite is a compact rock with a dark green or dark gray colour. The coarse-grained variety exhibits a somewhat mottled appearance. This character is more conspicuous in the altered rock in weathering. It is chiefly composed of plagioclase and biotite with a subordinate amount of orthoclase, hornblende, magnetite, pyrite, augite, apatite, haematite, chlorite, calcite, epidote, leucoxene, rutile, sericite, limonite, etc. (Pl. XIX, Fig. 4).

Subhedral or anhedral plagioclase shows a fine lamellar twinning of albite type frequently combined with the Carlsbad twin. The indices of refraction measured on (001) are  $n_1=1.536-1.546$ ,  $n_2=1.544-1.553$ , and suggest that it ranges from acidic oligoclase ( $Ab_{84}An_{16}$ ) to acidic andesine ( $Ab_{63}An_{37}$ ). The coarse-grained specimen from the southeastern end of the Syôkotu-hô ridge often contains rectangular crystals, 5 mm.  $\times$  1.7 mm. in the maximum size, but generally 0.5 mm. to 1.4 mm. in longer diameter. The fine-grained variety collected at the northeastern foot of Syôkotu-hô is rich in lath-shaped crystals, mostly 0.08 mm. to 0.4 mm. in length. Some of it is well zoned with an increase of acidity outward. Such zoned crystals commonly reveal a wavy extinction. Most of plagioclase are somewhat sericitized and partly altered to calcite. Sericitization has a tendency to begin from the interior. Biotite always takes anhedral form and is parti-

cularly plentiful in the rock from the southeastern foot of Syôkotu-hô. The fresh one is intensely pleochroic from bright yellow (X) to dark brownish-green (Y and Z). It includes magnetite, apatite, and sagenite. Sagenite is arranged in three directions intersecting at 60° to one another. The mineral is frequently chloritized. Orthoclase is subordinately present in all cases. Granular quartz is generally negligible except kersantite from Santei. Hornblende is sometimes associated with biotite in the specimens from near Syôkotu-hô. The long prismatic crystals of this mineral always include magnetite and give the following pleochroic scheme: X=light yellowish-brown, Y=brown, Z=yellowish-brown. The absorption is  $X < Z < Y$ . The extinction angle,  $Z \wedge c$ , is approximately 16°. Large crystals reach about 2 mm. in length. It is mostly chloritized to some extent. Augite-kersantite is different from others in the presence of augite crystals. Such a type of rock builds up a part of the dyke running close to Tyûyudô. The crystal form of augite is always anhedral, and the largest one is 15 mm.  $\times$  0.3 mm. in size. The inclusions are magnetite, apatite, and biotite. The extinction angle,  $Z \wedge c$ , is variable between 35° and 40°. It is altered to a mineral resembling bowlingite along the crack. Magnetite is a common mineral in all specimens. Some of it occurs in a skeletal form. Very complicated forms of skeleton crystal can be seen in the specimen from the southeastern terminal of the Syôkotu-hô ridge, intersecting with one another at an angle of 60°. From titaniferous magnetite leucoxene is derived in weathering. The magnetite in the augite-kersantite is 1 mm. or thereabouts in the maximum diameter and is extremely abundant compared with other specimens. Apatite is usually found in a minor amount, but it is a very common mineral in augite-kersantite. The crystal takes a granular or prismatic form. The prismatic crystal is always imperfect at its end. It is 0.93 mm. in the maximum length and is 0.2 mm. in the maximum diameter of the basal section. Pyrite is rare. Secondary minerals are derived from biotite, hornblende, magnetite, etc. Chlorite and epidote are alteration products of biotite and hornblende, whereas

leucoxene or rutile is a modification of titaniferous magnetite and biotite.

The result of chemical analysis is as follows :

SiO <sub>2</sub>	51.33	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.19	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.56	
FeO	4.73	
MnO	0.37	
MgO	2.89	
CaO	7.03	
Na <sub>2</sub> O	5.01	
K <sub>2</sub> O	2.41	
Moisture	1.12	
Ig. loss	3.46	
TiO <sub>2</sub>	2.90	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Total	100.00	Kersantite from Syôkotu-hô.
	Reduced to 100 per cent)	
	(Anal. T. KÔNO	

(2) Spessartite is quite similar to kersantite in its appearance. Coarse-grained specimens also have a mottled aspect, as is shown by the examples from Sendô and Tyûyudô. The spessartite from the Kaisen district is mostly of a fine-grained type. The primary constituents of this rock are plagioclase, hornblende, biotite, magnetite, apatite, quartz, and orthoclase. Besides these, there are many secondary minerals such as rutile, epidote, chlorite, leucoxene, sericite, zoisite, and limonite (Pl. XX, Fig. 1). In this case, plagioclase and hornblende are important minerals, and the rock belongs to biotite-spessartite. As an exceptional example, the specimen from Tyûyudô contains a remarkable amount of augite. This is a biotite-augite-spessartite.

Plagioclase has the same character as kersantite. A large crystal is sometimes 4 mm. in length, but most are less than 0.8 mm. in longer diameter. The indices of refraction on (001) are  $n_1=1.538-1.544$ ,  $n_2=1.546-1.551$ . Hence, it ranges from acidic oligoclase ( $Ab_{81}An_{19}$ ) to acidic andesine ( $Ab_{67}An_{33}$ ). The crystal is usually sericitized and chloritized. Hornblende occurs in a stout or long prismatic form. The crystal contained in the specimen from Sendô has a fresh appearance with the following pleochroic scheme : X=light brown, Y=

reddish-brown,  $Z$ =yellowish-brown. The absorption is  $X < Z < Y$ . The extinction angle,  $Z \wedge c$ , is nearly  $14^\circ$ . The hornblende of this locality includes magnetite grains and is surrounded by a narrow rim of biotite. The crystal of the specimen obtained in the vicinity of Tyû-yudô is generally much altered. In such a specimen, some hornblende crystals are arranged around augite, but they are enclosed by biotite in other cases. In the collection from the Kaisen district, it is almost chloritized, exhibiting a weak pleochroism and fibrous structure. Biotite is abundant in the rock from Sendô and Tyûyudô, but is only an accessory mineral in those from the other places. When it is plentiful, the rock grades into kersantite. Anhederal augite is present in coarse-grained varieties. The largest crystal is 2 mm.  $\times$  0.8 mm. in size. Sometimes it includes small biotite flakes. Magnetite and apatite are the most common accessory minerals. Stout prismatic or needle-shaped apatite is more occasionally seen in the specimens from Sendô and Tyûyudô in which the largest crystal is 1.4 mm. in length. The spessartite of Tyûyudô is somewhat different from others in its conspicuous content of augite and apatite. Quartz and orthoclase are rarely observed. Sericite, leucoxene, rutile, chlorite, limonite, epidote, and zoisite are the alteration products from plagioclase, biotite, hornblende, magnetite, etc. Among these, epidote is not infrequently contained in the spessartite exposed at Sendô, and zoisite is abundantly scattered in those collected from near Tyôdô and Hyakudai-san.

The chemical composition of a type specimen is shown in the following table.

	(1)	(2)
SiO <sub>2</sub>	50.97	44.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.81	11.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.54	6.64
FeO	3.27	6.50
MnO	0.10	0.43
MgO	8.63	4.95
CaO	5.73	8.32
Na <sub>2</sub> O	4.58	4.57
K <sub>2</sub> O	1.83	1.54
Moisture	0.99	1.60
Ig. loss	4.45	3.79
TiO <sub>2</sub>	1.07	6.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	tr.
Total	100.00	100.00
(Reduced to 100 per cent)		

(1) Spessartite from near Sendô.  
 (2) „ from near Nansihô.  
 (Anal. T. KONO)

(V) **Felsite** :—Felsite always occurs as a flow in several localities. It was extruded through the limestone of the Chôsen System at Reisenten of the Kaisen district. This similar occurrence is also known at Hakkatudô (白活洞) and Ryûsen (柳川) of the Kasei district where it poured out on the eroded surface of the limestone of the Syôgen System. In the Kenziho district, the extrusion of felsite seems to have taken place later than that of the orthophyre covering the Upper Daidô System exposed on the western slope of Geppô-san (月峯山). Some of it projects out from the exposure of this formation, forming isolated conical masses at Ginzanri (銀山里) or elsewhere.

Felsite is generally a compact and non-porphyritic rock with a dark gray or grayish-white colour. Some specimens show a banded or fluidal structure more or less resembling rhyolitic rocks. Such a structure is occasionally shown by the rocks from Tôri near Kenziho and Ryûsen. Felsite is mostly composed of quartz, orthoclase, plagioclase, magnetite, apatite, sericite, rutile, chlorite, limonite, etc. (Pl. XX, Fig. 2). When the phenocrystic orthoclase and plagioclase are present, they are scattered in the cryptocrystalline or microgranitic groundmass. Sometimes it has a tendency to pass into a liparitic rock.

(VI) **Orthophyre** :—The northern half of the Kenziho district is geologically much complicated by the frequent occurrence of many kinds of igneous rocks. Among these, orthophyre is one of the remarkable rocks poured out on the eroded surface of the Lower and Upper Daidô Systems. These formations are covered by orthophyre flows on Syôrin-san (松林山), Geppô-san, and also the end of the ridge extending southward from Ryûsenri (龍川里).

It is a porphyritic rock with varying colours from light gray to dark gray or greenish-gray, and most of it are more or less subjected to weathering. The composition minerals are orthoclase, plagioclase, biotite, magnetite, apatite, chlorite, rutile, sericite, calcite, quartz, limonite, etc. (Pl. XX, Fig. 3). The rock has a microgranitic or trachytic groundmass, in which the phenocrystic orthoclase, plagioclase, and

biotite are scattered over. The euhedral or subhedral phenocryst of orthoclase is more frequently to be seen than that of plagioclase. The extinction angle,  $Z \wedge c$ , is  $5^\circ$  or nearly so, and the optic character is negative. The largest crystal is 4 mm.  $\times$  3 mm. in size. The phenocrystic plagioclase takes a subhedral or anhedral form. Probably, it belongs to acidic oligoclase ( $Ab_{88}An_{12} - Ab_{86}An_{14}$ ), as is indicated by the indices of refraction, viz.,  $n_1 = 1.533 - 1.534$   $n_2 = 1.542 - 1.543$ . Both the feldspars are generally sericitized and is partly chloritized. Biotite is commonly present in the specimens from Syôrin-san and Geppô-san. This mineral is mostly chloritized, keeping the original crystal form. The formation of rutile and leucoxene is due to such a process. It is predominant in the specimens from Syôrin-san and Geppô-san. Apatite is rarely present and always shows a fresh appearance. Besides, there is a mineral resembling hornblende, but it is magmatically resorpted and passes into a confused aggregate of magnetite grains. As result of weathering, the rock is usually rich in chlorite or other secondary minerals.

(VII) **Porphyrite:**—The interesting geological feature of the regions including the Kenziho, Ginryû, and Kasei Mines is indicated by the close association of porphyrite with the sedimentaries of the Upper Daidô System. The main eruption of this rock is likely to have taken place during the deposition of the formation. The most extensive exposure can be seen in the hilly area extending from Syôrin-men to Kyûsei-men (九聖面) in the Kenziho district. The remnants of lava flow exposed at the opposite side of the Ginryû Mine are traceable southwestward from Sinsyôri (新井里) passing Reiseidô (冷井洞). Some sporadical exposures are, furthermore, scattered over several places in the neighbourhood of Goridô (五里洞), and Haku-rindô (柏林洞), as well as Zyôbandô (上盤洞).

In the Kenziho district, porphyrite not only occurs as lava flows, but also in dykes of small scale. The lava flows are conformably underlain by alternate beds of shale and sandstone of the Upper Daidô System exposed here. The porphyrite of Sinsyôri and Reiseidô is also



a lava flow poured out later. Here, it is associated with tufaceous rocks. The isolated exposure of Tōbandō covers both clayslate and limestone belonging to the Syōgen System, whereas those of Goridō and Hakurindō are found in the area of tuff assigned to be of the Upper Daidō System.

There are two kinds of porphyrite, brecciated or non-brecciated; the former is widely distributed as flows, and the latter forms small dykes or flows.

(1) The brecciated variety is composed of angular fragments of porphyrite cemented by tufaceous materials with a light green or light greenish-gray colour. Most of these porphyrite blocks are porphyritic and compact rocks which have different colours variable from green to dark gray. There are also some varieties with a flinty appearance in the vicinity of Kinzan (金山) and on the ridge east of Sinkeiho (新系浦) of the Kenziho district. Such fragments are always bordered distinctly against the matrix.

The best exposure of this rock can be seen in the neighbourhood of the Kenziho Iron and Steel Works. The rock here has a light green matrix and dark gray or brownish-gray fragments. Under the microscope, the matrix is an aggregate of lath-shaped plagioclase, magnetite, apatite, some secondary minerals, and tufaceous substances. In this part, subhedral or anhedral plagioclase belongs to andesine or labradorite which partly change into epidote, chlorite, and sericite. Minute plagioclase crystals are sometimes found in a fluidal arrangement. One of the characteristics of this matrix is the abundance of chlorite associated with titanite, rutile, and calcite.

The fragment with a porphyritic texture is mostly augite-porphyrityte. It consists of rectangular or lath-shaped andesine, apatite, magnetite, and augite as well as such secondary minerals as quartz, chlorite, calcite, limonite, sericite, etc. Some fragments are non-porphyritytic and have a dark gray colour. The constituent minerals are plagioclase, magnetite, apatite, calcite, chlorite, quartz, sericite, goethite, etc. As has been mentioned above, augite is generally altered

to an aggregate of quartz, calcite, and chlorite, preserving its original crystal form.

The specimen from the ridge east of Sinkeiho is, however, somewhat different from the preceding variety. It contains many flinty fragments. The rock is composed of andesine, apatite, magnetite, chlorite, calcite, sericite, and titanite. Plagioclase occurs as phenocryst or an ingredient of the groundmass. In the latter case, it frequently shows a fluidal structure. Chlorite was probably derived from biotite. Apatite, titanite, sericite, and calcite are present in a minor quantity.

The porphyrites exposed at the opposite side of the Ginryû Mine, Goridô, Hakurindô, etc. are brecciated varieties quite similar to those of the Kenziho district.

(2) Non-brecciated varieties are distributed to a less extent. These, mostly, have a black or dark gray colour. The rocks belong to an augite-porphyrite. Some are porphyritic, whereas others are nearly non-porphyritic. One of these is exposed close to the hospital of the Kenziho Iron and Steel Works. It is a dark gray or black-coloured rock with a fine porphyritic texture, being mostly composed of labradorite, andesine, magnetite, uralite, sericite, calcite, and quartz (Pl. XX, Fig. 4). Phenocrystic plagioclase ranges from andesine ( $\text{Ab}_{70}\text{An}_{40}$ ) to labradorite ( $\text{Ab}_{48}\text{An}_{52}$ ) with the following indices of refraction on (001), viz.,  $n_1=1.548-1.556$ ,  $n_2=1.555-1.562$ . The crystal is well zoned, and the largest crystal is 3 mm. in length. It is sometimes slightly sericitized in the inner portion. The plagioclase of the groundmass is more acidic and occurs in minute lath-shaped crystals which reveal a pilotaxitic texture. Augite is entirely altered to chlorite, quartz, calcite, and uralite, but its original crystal form is perfectly preserved. Some of chlorite may be a modification of biotite. Magnetite is scattered in the groundmass.

The similar type of porphyrite traverses the brecciated variety at Dômokudô (桐木洞) south of Kenziho. In this case, fresh augite and biotite are to be seen. Biotite is present in a minor quantity, but augite is a predominant mineral of this rock. Augite crystals, both phenocryst and those of groundmass, are partly altered to chlorite or

uralite and are often subjected to the magmatic resorption along their margin. The maximum extinction angle,  $Z \wedge c$ , is measured to be  $45^\circ$ .

The porphyrite collected from near the summit of Syôrin-san (松林山) is also a porphyritic rock with a dark gray colour. It is a lava flow consisting of andesine, labradorite, magnetite, apatite, chlorite, quartz, etc. Plagioclase is found as phenocryst, 3 mm. in the maximum length, and it is also an ingredient of the groundmass. Augite is always decomposed to a fine aggregate of chlorite, sericite, and quartz. The prismatic or needle-shaped apatite is only an accessory constituent in the pilotaxitic groundmass.

Somewhat different kinds of porphyrite are exposed on the hill north of Dômokudô and the northern slope of Kogan (虎岩). The former is dark green, while the latter is dark red with a purplish shade, both being extremely hard rocks. In the latter case, there is a flinty variety. They are composed of andesine, labradorite, magnetite, apatite, chlorite, calcite, limonite, titanite, rutile, sericite, quartz, etc. As a result of weathering, chlorite, calcite, and limonite are remarkably abundant.

(VIII) **Basalt**:- There are many dykes of basalt in the Kaisen district, where they were injected into the limestone or clayslate of the Chôsen System. Some of these are found on the limestone hill extending northward from the old open-pit of Kintokusan. A basalt dyke also traverses the limestone beds close to No. 1 outcrop of Seitû-san and is traceable about 600 meters from east to west. The similar types of basalt are often encountered in the adits of No. 2 outcrop of Seitû-san, these dykes, 2-3 meters in width, cutting the ore bodies with a strike of  $N70^\circ E$  and an inclination of  $80^\circ$  or thereabouts north north-eastward or south south-westward. Besides these, some small dykes can be seen in the limestone area near Sendô. It is similarly noticed that basalt is exposed on the hill near the pass northeast of Tôdô (峠洞) and at the southern foot of Kansi-san (乾芝山), as well as at the end of the Seitû-san ridge. In the last case, the occurrence of basalt dyke is known in the clayslate formation.

The basalts exposed in these localities are hard, compact rocks with a black or dark gray colour which converts to gray or brown in weathered specimens. Most of these are olivine-basalts, but the porphyritic variety obtained from the southern foot of Kansisan belongs to labradorite-olivine-enstatite-basalt.

(1) Olivine-basalt: The ingredients of this rock are plagioclase, olivine, augite, magnetite, and glass, as well as such secondary minerals as serpentine, bowlingite, calcite, and goethite (Pl. XXI, Fig. 1).

Of these, minerals, plagioclase is found as a phenocryst and constituent of the groundmass, both taking a lath-shaped or rectangular form. The phenocrystic plagioclase mostly twins after Carlsbad or albite law, but rarely the pericline law. Most of the crystals are subhedral or anhedral and are sometimes zoned without any regular decrease of basicity outward. The indices of refraction measured on (001) are  $n_1=1.560-1.561$ ,  $n_2=1.566-1.567$ , indicating that it is labradorite with compositions between  $Ab_{40}An_{60}$  and  $Ab_{34}An_{66}$ . The largest crystal is 2.3 mm. in its longer diameter.

The plagioclase in the groundmass is more acidic than the phenocrystic one. It is commonly variable from 0.08 mm. to 0.43 mm. in its length. Most crystals indicate a Carlsbad or albite twin.

Olivine is an important mineral as phenocryst. Euhedral crystals are occasionally to be seen in the specimens from near Kintokusan, but it is generally anhedral. In the groundmass this mineral is scattered over in a granular form. The phenocryst is 0.68 mm.  $\times$  1.36 mm. in its maximum size, and it is altered into serpentine, bowlingite, and goethite along the cracks or peripheral parts of the crystals.

Augite is usually in a granular or prismatic form, filling up the interstices of plagioclase laths. It is present in a large quantity. Extinction angle,  $Z \wedge c$ , is nearly  $40^\circ$ . Its inclosure is magnetite.

The basalt injected into clayslate exposed along the Sôtô-kô and also that collected from the southern side of No. 2 outcrop of Seitûsan contain titaniferous augite which shows such a pleochroic scheme as  $X=\text{light purplish-brown}$ ,  $Y=\text{light yellow}$ ,  $Z=\text{light brownish-purple}$ . The absorption is  $Z>X>Y$ . Minute prismatic crystals are often

arranged normal to the periphery of olivine phenocrysts. Magnetite is one of the most common minerals in all specimens from various localities. It is conspicuously abundant in the basalt containing titaniferous augite. The crystal takes an octahedral, skeletal or granular form, and it is closely associated with augite. An aggregate of plagioclase, augite, and magnetite exhibits a characteristic intersertal texture. The occurrence of glass is known only in the specimen from near Kintokusan. It has a light brown colour and exists in the interstices of plagioclase crystals together with augite and magnetite.

The chemical composition of the specimen from Kintokusan is as follows:—

(2) Labradorite-olivine-enstatite-basalt:—

Exclusive of plagioclase and enstatite, there are found augite, magnetite, olivine, calcite, chlorite, etc. (Pl. XXI, Fig. 2). The phenocrystic plagioclase belongs to acidic labradorite ( $\text{Ab}_{46}\text{An}_{54}$ ), as is shown by the indices of refraction on (001), viz.,  $n_1=1.557$   $n_2=1.563$ . The crystals are 1 cm. in the maximum length, always twinning after albite or Carlsbad law.

The phenocryst is sometimes corroded irregularly by the groundmass. Besides, minute lathshaped crystals are plentifully found in the

groundmass, where they make up an intersertal texture in association with apatite and magnetite. Most crystals indicate a Carlsbad or albite twinning and ranges from 0.08 mm. to 0.2 mm. in length. This plagioclase is acidic labradorite ( $\text{Ab}_{40}\text{An}_{60}$ ) with the following indices of refraction on (001);  $n_1=1.555$ ,  $n_2=1.561$ .

The prismatic enstatite is a characteristic ingredient of this rock. It is always present as a phenocryst, 2.7 mm.  $\times$  0.35 mm. in the maximum size. This mineral is characterized by the absence of pleochroism, parallel extinction, and also low birefringence. Its periphery is frequently surrounded by a narrow reaction rim of augite. The crystal is similarly invaded by the groundmass and includes a remark-

$\text{SiO}_2$	48.29
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14.75
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.73
$\text{FeO}$	9.80
$\text{MnO}$	0.32
$\text{MgO}$	7.53
$\text{CaO}$	8.42
$\text{Na}_2\text{O}$	3.81
$\text{K}_2\text{O}$	1.32
$\text{H}_2\text{O}$	1.15
$\text{TiO}_2$	1.21
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.45
$\text{SO}_3$	1.01
$\text{CO}_2$	0.68
Total	100.47

Olivine-basalt from  
near Kintokusan.  
(Anal. Y. MORI)

able quantity of magnetite grains. Olivine also occurs as phenocryst in less amount. It is sometimes euhedral, but generally anhedral, the largest one being 0.8 mm. in length. Granular augite and magnetite are associated together in the groundmass. Calcite and chlorite were derived from olivine as weathering products.

## THE HISTORY OF IGNEOUS ACTIVITIES

It is very necessary to investigate when the intrusion or extrusion of many igneous rocks took place, because their igneous activities have a close relation with the formation of varying kinds of ore-deposits, metalliferous or non-metalliferous, in S. Heian-dô and Kôkai-dô.

As has been confirmed by the results of geological works carried out long before, it is obvious that there were large igneous activities in connection with the diastrophisms which took place in the Mesozoic throughout the whole of the Chôsen peninsula. Such geological accidents were especially remarkable in the end of the Cretaceous, and many of the igneous rocks extensively distributed in this peninsula are believed to have been intruded and extruded in this age. So far as is known at present, they are well studied in the following regions: viz., Saitoku (載徳)-Sinpukuzyô (新福場)-Koho (古堡)-Gosokuri (羣足里) extending from N. Kankyô-dô (咸鏡北道) to S. Kankyô-dô (咸鏡南道)<sup>(1)</sup>; Seisin (清津)-Rensin (連津) of N. Kankyô-dô<sup>(2)</sup>; Hokut'in (北鎭)-Gyûkent'in (牛岫鎭) of N. Heian-dô<sup>(3)</sup>; Seisen (成川), -Bessôri (別倉里)-Inzan (殷山)-Tôsô (東倉) of S. Heian-dô (平安南道)<sup>(4)</sup>; Seizan (靑山) of N. Keisyô-dô (慶尙北道) and Eidô (永同) of N. Tyûsei-dô (忠清北道)<sup>(5)</sup>; Seiyô (靑陽)-Daisenri (大川里)-Fuyo (扶餘)-Ranpo (藍浦) of S. Tyûsei-dô (忠清南道)<sup>(6)</sup>; Enniti (延日)-Kyûryûho (九龍浦)

(1) Y. KINOSAKI:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 14, 1932, pp. 6-9.

(2) S. SHIMAMURA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 16, 1933, pp. 3-4.

(3) Y. KINOSAKI:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 15, 1933, pp. 2-4.

(4) I. TATEIWA:—Neol. Atlas of Chôsen, No. 12, 1931, p. 5.

(5) S. SHIMAMURA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 7, 1927, pp. 2-3.

(6) „ „ :—Geol. Atlas of Chôsen, No. 13, 1931, pp. 3-4.

-Tyôyô (朝陽) of N. and S. Keisyô-dô<sup>(1)</sup>. Keisyû (慶州)-Eidô (永同)-Taikyû (大邱) of N. Keisyô-dô<sup>(2)</sup>; Tinan (鎮安)-Zensyû (全州) of N. Zenra-dô (全羅北道)<sup>(3)</sup>; Kainan (海南)-Usuiei (石水營) of S. Zenra-dô (全羅南道)<sup>(4)</sup>; Kantô (完島)-Rokatô (蘆花嶋)-Seizantô (青山島)-Tarôtô (太郎島)-Syoantô (所安島) of S. Zenra-dô.<sup>(5)</sup> These rocks are represented by granite, syenite, monzonite, diorite, serpentine, granite-porphry, monzonite-porphry, aplite, pegmatite, lamrophyre, quartz-porphry, granophyre, felsite, felsophyre, orthophyre, porphyrite, vitrophyre, masanite, tsingtauite, etc. Although they are not exactly of the same geological age, and each region shows a somewhat different association of rocks, their intrusion and extrusion are likely to have been taken place during continuous magmatic activities. The frequency of the igneous activities in the later Cretaceous is indicated by the extensive eruption of porphyrite happened in South Chôsen, particularly N. and S. Keisyô-dô. It is believable that this porphyrite is probably of the same age as that of Kyûsyû. According to the YAMANARI and TATEIWA's investigations,<sup>(6)</sup> its extrusion seems to have taken place during the accumulation of the Upper Keisyô Formation, that is, the Siragi (新羅) Series. It was probably erupted repeatedly from the beginning of the deposition of this formation. In the areas including Mituyô (密陽) and Yusen (楡川) as well as Keisyû, Yeidô, and Taikyû, there are granitic masses intruded through such porphyrite lavas, and they exhibit a transition into masanite or other rocks along the roof of batholithic masses. Several evidences suggest that varying kinds of igneous rocks of South Chôsen are likely to have some genetic relation to the granitic intrusion.

The mode of occurrence and other features of the igneous rocks in the iron-bearing districts under consideration are quite similar, in many points, to those of the regions mentioned above. Some of these

(1) I. TATEIWA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 2, 1922, pp. 1-2.

(2) " " :—Geol. Atlas of Chôsen, No. 10, 1929, p. 1.

(3) S. SHIMAMURA: Geol. Atlas of Chôsen, No. 5, 1925, pp. 2-3.

(4) Y. KINOSAKI:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 9, 1929, pp. 3-5.

(5) S. SHIMAMURA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 11, 1930, p. 2.

(6) F. YAMANARI:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 1, 1922, pp. 1-2.

I. TATEIWA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 10, 1929., p. 1.

igneous rocks are younger than the Heian System in their geological age, while others were undoubtedly intruded or extruded during and subsequent to the deposition of the Upper Daidô System.

As will be inferred from the occurrence of granite in the Kaisen district, it was intruded after enormous diastrophism had taken place later than the accumulation of the Green Series, the uppermost formation of the Heian System. Such examples can be seen at Zinkôri (仁興里) southeast of Hokuin (北院) and also Gohô-zan (五峰山) east of Kaisen. In these cases the Heian System was highly metamorphosed along the contact, forming abundant andalusite, chiastolite, and other contact minerals. In addition, anthracite is often altered to graphite in the contact aureol. The Gungûri Formation unconformably covers the lower part of the Heian System in the area between Gungûri and Ryûtanri (龍潭里). This formation was deposited after the Heian System had been subjected to extreme erosion. Its basal conglomerate contains varying kinds of pebbles derived from the latter, but it is quite free from those of granite which was intruded up to the Green Series. Therefore, the granite here is probably of later intrusion than the Gungûri Formation, although there is no evidence to confirm directly the relation between them.

It is noteworthy that there are many dykès, sills, and stocks of diorite porphyry, quartz-porphyry, felsite, lamprophyre, and basalt in the iron-bearing area not so far from these granite exposures. This feature quite resembles the close association of diorite, quartz-porphyry, felsite, basalt, etc. with the Sûga-san (崇峨山) granite mass extending from Reisen-men (靈泉面) of Seisen-gun (成川郡) to Inzan-men (殷山面) and Sinsô-men (新倉面) of Zyunsen-gun (順川郡).

In the Kaisen district quartz-porphyry is occasionally found in the limestone area near the periphery of the granite exposure. Similarly, several types of hypabyssal rocks of this region are likely to have some genetical connections with the granite mentioned above in igneous activities.

The granite of the Inritu Mine district is of later geological age than the Syôgen System (?) exposed there. Although there is no field



evidence to confirm precisely when its intrusion took place, similar kinds of porphyritic granite are also exposed extensively in other parts of Kôkai-dô where they are assigned to be of the Cretaceous.

There is also a large exposure of granitic mass in the neighbourhood of the Sainei Mine where it is found in contact with the Upper Daidô System. The western periphery of the granite mass is displaced by an enormous fault, and therefore, its relation to the Upper Daidô System is obscured in this case. It is, however, remarkable that a small dyke of granite cuts the alternate bed of shale, sandstone, and conglomerate belonging also to the Upper Daidô System exposed at the Sainei Mine, and quartz-porphyry is frequently to be seen in the similar formation of the further north. These facts are likely to suggest that the intrusion of such rocks probably took place in connection with that of large granite mass. SHIMAMURA<sup>(1)</sup> has noticed some intensely silicified sandstones of the Goryûsan Formation at Sekihôsan (石峰山) west of Taikinsan (泰金山) and in the area south of Kokusui-hô (國水峯), and flinty shale or sandstone of the Kanpô-san Formation at Ennairi (埴内里). He attributed such an alteration to the contact metamorphism due to the granitic intrusion under consideration. Moreover, B. Itô<sup>(2)</sup> also considered that the granite here was intruded later than the deposition of the Upper Daidô System. The same explanation may be accepted for the granite exposed in the area extending from Sinin (新院) to Ryôkenri (涼峴里) west of the Kasei Mine. The frequent occurrence of porphyrite, quartz-porphyry, felsite, lamprophyre, etc. in the Kasei-Ginryû region seems to have a close connection with the intrusion of this granitic mass. They are similar to those of the Kaisen Mine district in their petrogenetic environment.

The most remarkable igneous activities in the Cretaceous age are shown in the Kenziho region, where there are abundant tufaceous sediments belonging to the Cretaceous probably corresponding to the Siragi

(1) S. SHIMAMURA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 8, 1929, p. 2.

(2) B. ITO:—Iron-ore Deposits of Sainei (Japanese), Jour. Min. Asso. Chôsen. Vol. VIII, 1925, p. 335.

Series of South Chôsen. The Upper Daidô System here is almost associated with the extrusion of porphyryite and is covered by quartz-porphry, orthophyre, felsite, etc. These facts may suggest that the geological age of varying igneous rocks in the Kenziho district is the same as that of intrusives or extrusives found commonly in the Siragi and Fukkokuzi Series of South Chôsen.

As will be understood from several geological evidences, it is highly probable that there were striking igneous activities throughout the iron-bearing districts under consideration during the period from the beginning to end of the Cretaceous when the intrusion or extrusion of igneous rocks had successively taken place. Hence, most granitic rocks of these regions may be of the same geological age as quartz-porphry, felsite, diorite porphyrite, porphyrite, etc.

The extrusion of basalt in the Kaisen district is, on the other hand, indifferent to the igneous activities in the Cretaceous age. As is shown in the Ansyû district or elsewhere, it is considered to have been extruded in the Tertiary or Quaternary time.

### CONSIDERATIONS ON THE TECTONIC DISTURBANCE

So far as is known at present, the main tectonic disturbance might have happened twice in Chôsen, after the deposition of the sediments belonging to the Heian System. Such evidence can be confirmed in the Kaisen iron-bearing district. At the northern periphery of this district there is exposed a part of the Heian System extending over four counties, namely Tokusen (徳川), Zyunsen (順川), Kaisen, and Môsan (謫山). As is shown in Heizyô (平壤), Sansyô-Kôryô (三陟-江陵), and Kôgen (高原)-Bunsen (文川) coal fields and elsewhere, the Heian System lies upon the limestone beds of the Chôsen System with a parallel unconformity, both being intensely subjected to folding. There is, however, no evidence that the Chôsen System and also underlying Syôgen System had already been disturbed prior to the accumulation of the Heian System. A remarkable tectonic movement here undoubtedly took place before the large intrusion of the granitic masses exposed at Zinkôri, Gohô-zan, and their environs. Moreover,

the Chôsen and Heian Systems are clinounconformably overlain by the Gungûri Formation less disturbed, suggesting that there is likely to have been some remarkable movement due to a lateral pressure earlier than the deposition of the latter formation. As has been explained elsewhere, the geological age of the Gungûri Formation may approximately correspond to that of the Upper Daidô System.

In connection with the tectonic disturbance mentioned above, it is very necessary to investigate the structural relation between the Lower Daidô System and still older sedimentaries which are traceable from Kôsei (江西) and Taihō (大寶) Coal Mines to Gabi-san (娥眉山), Ryūkōri (龍興里), and Suihoku-san (炊北山) eastward. The Lower Daidô System of this area unconformably covers the base rocks, showing an extremely complex structure due to the intense folding and thrusting. E. KONNO<sup>(1)</sup> calls this disturbance "Taihō diastrophism," and he considers that it probably took place in the Younger Jurassic age. According to his opinion, the Lower Daidô System and underlying beds are found in a parallel unconformity. He suggests that the former indicates the same structural feature as the latter, and there are extensive erosion terraces of older horizontal beds in the basin where the Lower Daidô System was accumulated. Hence, KONNO believes the sediments of this area to have been quite free from the lateral pressure causing complicated flexure before the complete accumulation of the Lower Daidô System. The similar examples were pointed out by F. YAMANARI<sup>(2)</sup> on the Bansyō (盤松) Formation and still older formations in Kōgen-dō. The Bansyō Formation covers parallelunconformably the older sediments. Yamanari believes that there is no trace of disturbance until the Bansyō Formation was accumulated, although both the Chôsen and Heian Systems had strikingly been eroded up to this time. In this point of view, he considers an enormous tectonic movement to have happened in the Liassic. It is,

---

(1) E. KONNO:—Structure and Geology of the Western Periphery of the Heizyō Coal Field (Japanese), Jour. Geol. Soc. Tōkyō, Vol. XXXV, 1928, pp. 79-99.

(2) F. YAMANARI:—A Scaly Structure in Kōgen-dō, Chôsen (Japanese), Geogr. Rev., Vol. II, 1926, 20-28. pp.

however, somewhat different from the case seen at Sindô (新洞) of the Kenziho district. Here the Lower Daidô System clinounconformably overlies the upper part of the Chôsen System. In this case, the former exhibits a strike of N50° E and a dip of 45°-50° NW, whereas the latter inclines 60°-70° southward. This fact seems to reveal that the Chôsen System had already been subjected to the disturbance prior to the accumulation of the Lower Daidô System.

The Chôsen System of the Kaisen district is intensely disturbed in the same way as the Heian System exposed there. It can be, therefore, inferred that the Heian System had probably been folded, when the Lower Daidô System began to be accumulated. These conditions quite resemble those of Tôsô-Inzan-Bessôri-Seisen district investigated by TATEIWA.<sup>(1)</sup> In this area the tectonic disturbance was repeated twice, the one being preceded by the accumulation of the Heian System and followed by the Lower Daidô System, while the other between Upper and Lower Daidô Systems. These subjects have already been discussed by the writer in his paper.<sup>(2)</sup> As to the crustal movement of the Upper Jurassic age, TATEIWA<sup>(3)</sup> also found some evidence in the Sinkô (S. Kankyô-dô), and Keisyô-Wakwan (N. Keisyô-dô) districts. It seems to be of a larger scale compared with the preceding one. The disturbance in the Upper Jurassic age is not only limited to Chôsen, but also spreads over East Asia. The tectonic movement of the same geological age was confirmed by OZAWA<sup>(4)</sup> in the interior of Japan. The result of such a diastrophism brought a remarkable igneous activities to this peninsula, and therefore, the Upper Daidô System covering clinounconformably the Lower Daidô System is characterized by the frequent occurrence of tufaceous sediments and the association of varying types of intrusives or extrusives. These features can

(1) I. TATEIWA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 12, 1931, p. 7.

(2) T. ICHIMURA:—On the Iron-ore Deposits of Chôsen (Japanese), Jour. Min. Assoc. Chôsen, Vol. X, 1927, pp. 43-44.

(3) T. TATEIWA:—Geol. Atlas of Chôsen, No. 6, 1926, p. 5: Geol. Atlas of Chôsen, No. 10, 1924, p. 7.

(4) Y. OZAWA:—Pre-Tertiary Crustal Movement in the Inner Zone of Southwest Japan (Japanese), Geogr. Rev., Vol. II, 1928, pp. 55-56.

be investigated in Kenziho, Kasei, Sainei, Angaku, and other districts.

The Upper Daidô System was disturbed later to some extent, but was nearly free from the influence of such a lateral pressure as can be observed in the older formations. It was, on the other hand, subjected to a block movement which probably resulted in a large fault traversing from NNW to SSE and others in the Angaku-Sainei district. The geological age of this movement is not strictly determined at present. It is, however, plausible to assume that it took place to adjust the unstableness of overlying beds due to the igneous intrusions or eruptions and also the migration of magma.

These crustal disturbances and igneous activities are undoubtedly a direct or indirect cause of the formation of various metalliferous or non-metalliferous ore-deposits abundant in Kôkai-dô, S. Heian-dô, and others.

### GENERAL FEATURES OF HAEMATITE AND LIMONITE DEPOSITS

As has been noticed elsewhere, haematite and limonite deposits under consideration are mainly contained in limestone or clayslate of Chôsen System or Syôgen System as well as in shale, sandstone, and conglomerate belonging to the Upper Daidô System, and also in the residual clays altered from these sedimentaries.

So far as is known at present, there are several modes of occurrence of deposits, viz., (1) lenticular masses or beds in limestone; (2) irregular masses or branched pipes in dolomitic limestone; (3) lenticular masses in mica-clayslate; (4) irregular masses extending from limestone beds to mica-clayslate beds; (5) irregular veins or networks in limestone; (6) irregular masses, networks, and beds in shale, sandstone, and conglomerate; (7) boulders or pebbles scattered in the residual clay; (8) irregular masses in small limestone caves; and (9) irregular masses or veins in granite.

The frequent occurrence of lenticular and bedded deposits are known at the Kaisen Mine, Inritu Mine, Kenziho Mine, Ginryû Mine,

and Kasei Mine. They are found in several horizons of limestone beds. The predominant ones are to be seen at the Inritu Mine.

The dolomitic limestone extensively exposed in the Kokkyô-Tentyû district frequently contains many small irregular masses or branched pipes, particularly in the hilly area between Tenkyôdô (砧橋洞) and Keitenri (敬天里). They are usually associated with pyrite. In the Kaisen Mine ore bodies sometimes take a lenticular or irregular form in mica-clayslate or between limestone and mica-clayslate. Some of these are remarkably developed and traceable a long distance along the contact of limestone and mica-clayslate exposed at Seitû-san. The mass in mica-clayslate is, on the other hand, of small scale.

The limestone beds of several mines except Kokkyô-Tentyû district are also traversed by irregular veinets or complicated networks of limonite or haematite derived partly from siderite. The writer has seen many good examples of haematite veinlets or networks at Hamaguriyama or elsewhere of the Sainei Mine.

The haematite and limonite deposits found in the sedimentaries of the Upper Daidô System can be investigated at Sainei Mine, Angaku Mine, and their environs. The deposits mostly occur as a bedded form or irregular mass in the alternate beds of conglomerate, sandstone, and shale at the Sainei Mine, whereas they appear along the lowest horizon of conglomerate beds at the Angaku Mine. The Upper Daidô System at the Sainei Mine is unconformably underlain by the limestone beds assigned to be of the Chôsen System or the Syôgen System. It is noteworthy that the deposits here can be traced through the limestone downward.

The residual deposits are extensively distributed in the mining district mentioned above. Haematite or limonite ores contained in such a residual clay are now abundantly worked at the Sainei Mine and the Kasei Mine. A large amount of these ores seems to be still preserved in the Kaisen district. They are also important ores from Kenziho, Ginryû, and Inritu districts. In these cases residual clay contains innumerable pebbles or blocks of iron ores ranging mostly from a half centimeter to two or three meters in diameter. Remark-

ably large masses have hitherto been found at the Kasei Mine, Sainei Mine, Inritu Mine, and elsewhere. There are some tendencies indicating that the ores are likely to be concentrated close to the base rock.

Iron ores in limestone caves are found in small scale, being generally present together with clayey substances.

### **HAEMATITE AND LIMONITE DEPOSITS OF SOME IMPORTANT MINES**

It is necessary to give some short descriptions of the haematite and limonite deposits of several important mines, before the writer explaining various characters and modes of occurrence of ores.

#### **(I) Haematite and limonite deposits of the Kaisen Mine and its environs**

The haematite and limonite deposits of the Kaisen Mine district are scattered over the area estimated to be 20 kilometers from north to south and nearly 4 kilometers from east to west (Fig. 1). Thus, these deposits are traceable between Kanten (間站) in the north and Go-hô (岩峰) in the south, being sporadically distributed in the hilly area which includes Kenryûri (見龍里), Unkokuten (雲谷站), Kintokusan (金徳山), Kansî-san (乾芝山), Tôten (東站), Bazyôrisekken (馬場石峴), Sendô (泉洞), Zenson (全村), Sinkenri (薪峴里), Ryûdenri (龍田里), Hôsyôdô (鳳章洞), Madô (麻洞), Kizyôdô (龜城洞), Ryûnanri (龍灘里), and En-hô (蔦峰).

In these cases, the remarkable occurrence of the deposits are known at Unkokuten, Sendô-Zenson, Sinkenri-Ryûdenri, and Ryûnanri.

The haematite and limonite deposits of the Kaisen Mine and its environ are commonly found in banded limestone or its associating massive limestone, mica-clayslate, and residual clay as well as the contact of massive limestone and mica-clayslate. The ore bodies con-

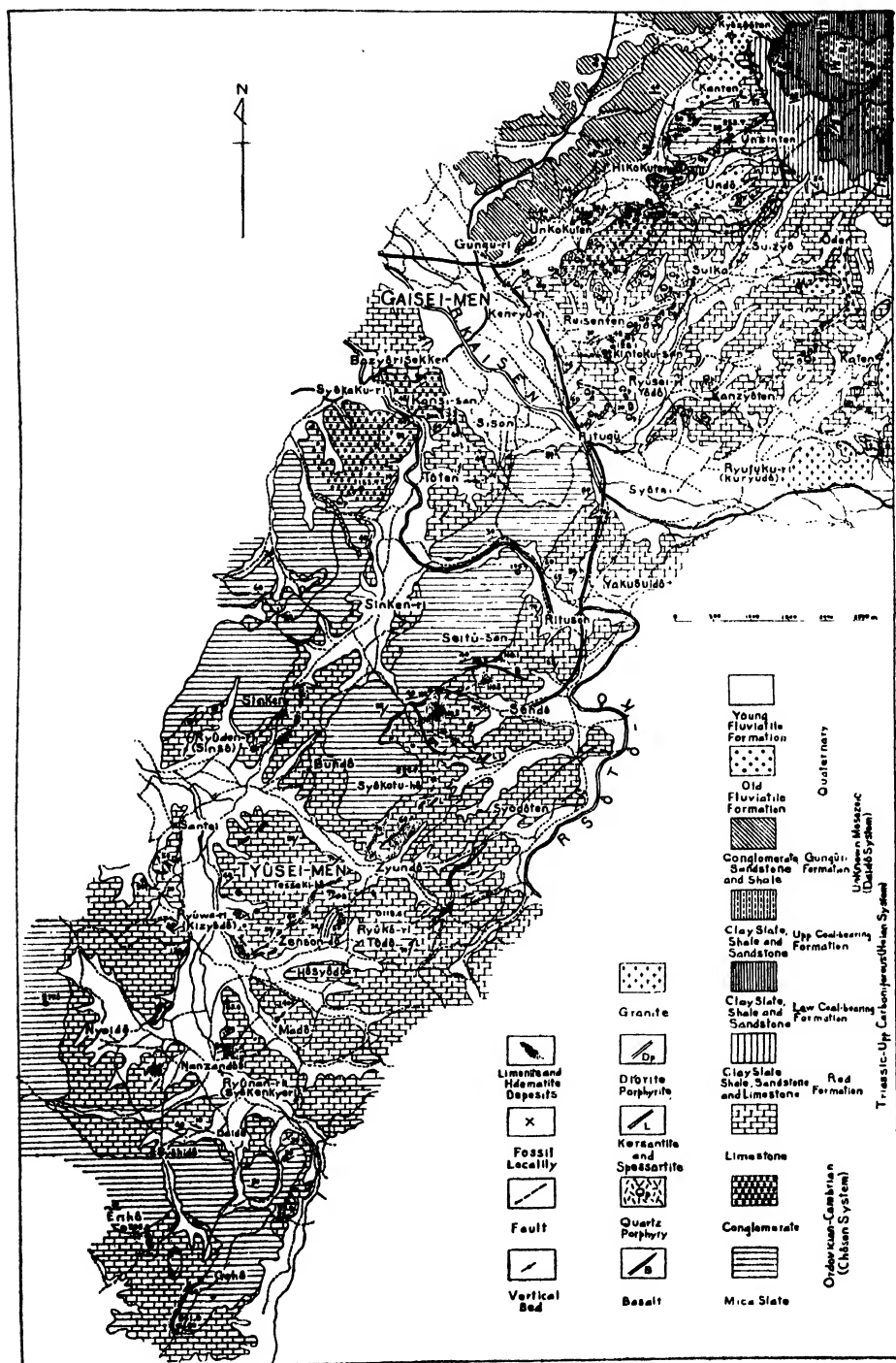


Fig. 1.  
Geological map of the Kaisen Mine and vicinity.



tained in banded limestone and massive limestone are to be seen at Syôkotuhô-Zenson, Tôdô (沓洞)-Nanzandô (南山洞), Sinken-Ryûdenri, Kizyôdô, Kansisan-Tôten, Kintokusan, and Hikokuten (碑谷砦)-Kanten. Mostly, they take a lenticular or bedded form parallel to the bedding plane of these rocks. Some small lenticular masses are exposed along the valley extending southward at the opposite side of Ritugû and also on the slope about 700 meters west of the highest point of Seitû-san. The deposits are arranged at the contact of limestone and mica-clayslate can commonly be observed at Seitû-san, Sinken, En-hô, Go-hô, and elsewhere. The best examples are shown by four examples of Seitû-san. Such ore bodies are the source of the residual deposits distributed widely in this district.

(1) Kanten-Gungûri: There are many outcrops along the Unkokuten extending from Gungûri up to Kanten, having already been excavated here and there by open mining. Some of these are found on the slope between Kanten and Hisekiten, where they are contained in a calcareous slate and residual clay. The deposits here were, however, almost removed many years ago, and their nature can not be investigated except in a few places. The country rocks exposed there are intensely subjected to weathering. Some portions of these rocks are frequently traversed by limonite veinlets and pass into a massive limonite, keeping their original structure. Several large ore bodies have also been worked at the valley flat north of Unkokuten. The old open pits are traceable about 500 meters northwestward. They are arranged in a bluish gray clayslate or limestone overlain by the Quaternary gravels and sands. The main ore bodies are now hidden under the water in the old open pits. The country rocks indicate varying strikes of  $N30^{\circ}-70^{\circ}E$  and different dips of  $20^{\circ}-45^{\circ}NW$  or  $NNW$ , being intruded by quartz-porphyry. In connection with the area mentioned above, iron ores have abundantly been obtained from the valley south of Unkokuten where there are thick limonite lenses in limestone showing the strike of  $N60^{\circ}E$  and the dip of  $50^{\circ}NNW$ . The old open pits there have an extension of about 200 meters. Abundant ores are also scattered over up to the top of the hill behind this place.

KAWASAKI states that a limonite deposit, 400 meters in length and 3 meters in thickness, was found in the clayslate beds exposed in further north from here, and it was removed many years ago. At the foot of the opposite hill, namely the western side of the road between Gûngûri and Hisekiten, an old open pit, about 200 meters in length remains in the area overlain by the Gungûri Formation and gravel beds of recent age. It is said that the deposit here was an irregular lens 20 meters in the thickest part.

(2) Kintokusan:—The rocks exposed here are light gray dolomitic limestone and gray banded limestone intercalating bluish-gray clayslate. The limestone shows the strike of  $N50^{\circ}-70^{\circ} W$  and varying inclination angles between  $30^{\circ}$  and  $50^{\circ}$  northwestward and north-northwestward. The ore bodies are mostly contained in this dolomitic limestone and clayslate as well as in residual clays, their exposures being traceable about 300 meters in length. They take a bedded or lenticular form along the bedding plane of limestone or clayslate, some of these branching off many stringers into mother rocks. Such stringers sometimes unite together to form small ore masses, 10 centimeters or more in diameter. The superficial part of these ore deposits has already been excavated by open working.

(3) Kansî-san:—The exposures begin to appear at the northern foot of Kansî-san and are sporadically distributed up to the top of the ridge south of Tôten, being arranged parallel to the stratification plane of limestone beds with the strike varying from  $N 20^{\circ} E$  to  $N30^{\circ} W$ .

(4) Bazyôrisekken:—The iron ores have been obtained by an open cut method on the hill north of the pass, and there are now scattered innumerable small pebbles or boulders of limonite and haematite ores on the surface.

(5) Ritugû-Sison:—A small ore body is found in mica-clayslate exposed close to the entrance of the valley between Ritugû and Sison (芝村), where it shows the strike of  $N 30^{\circ} W$  and the dip of  $50^{\circ} SW$ . The thickest part of this mass is 2 meters.

(6) Seitû-san:—Most of iron ores of the Kaisen Mine are now taken out by open cut and underground methods at Seitû-san (Fig. 2

and Fig. 3) and in its environ. There are known five main ore bodies at both side of Seitû-san.



Fig. 2.

Seitû-san looking from the south.

(1)=Seitû-san, (2)=No. 2 outcrop (A), (3)=No. 2 outcrop (B), (4) = No. 3 outcrop. Kaisen Mine.

No. 1 is an irregular mass lying at the contact of massive limestone with a light gray colour and mica-clayslate (Fig. 4). It extends from north to south with the dip of 30° or thereabouts westward and is traceable about 120 meters in the adit of the lowest level. Its thickness is quite variable from place to place. The maximum thickness is 36 meters in open pits, whereas it is 18 meters in the adit 24 meters below the surface. The ore body here contains abundant fragmental clayslate along the hanging-wall and is frequently traversed by basalt dykes 1 meter or more in width.

No. 2 is found close to No. 1 outcrop, being separated by a narrow ridge between them (Fig. 2). The ore body extends about 100 meters from northwest to southeast and is 30 meters in the thickest part, inclining about 28° to the northeast. It has a very irregular form with some branches penetrating mica-clayslate of the hanging-wall (Fig. 5). At the eastern half of the open pit, this irregular mass



Fig. 3.

An ore body between mica-clayslate and limestone at No. 4 outcrop of Seitû-san, Kaisen Mine.

Ls=Limestone, O =Ore body, Sl=Mica-clayslate.

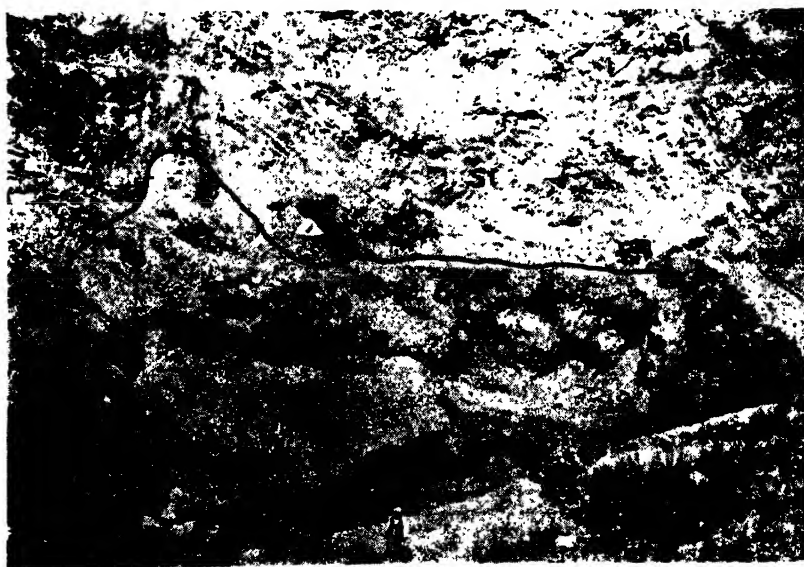


Fig. 4.

An ore body projecting into mica-clayslate bed.

O=Ore body, Sl=Mica-clayslate. The clayslate bed here is intensely folded. No. 1 outcrop (A) of Seitû-san, Kaisen Mine.



Fig. 5.

An ore body projecting into mica-clayslate bed.

O = Ore body, Sl = Mica-clayslate. No. 2 outcrop of Seitô-san, Kaisen Mine.

separates two bodies with a gray massive limestone bed between them and gradually parts from mica-clayslate bed. The ore body here is intruded by basalt and quartz-porphyry in adits. In this case, basalt occurs as small dykes usually less than one meter in width. Mostly, it has a trend of  $N 70^{\circ} W$  and a very steep inclination.

There is another small ore body in a light gray limestone exposed close to the main one. Its width varies from 30 centimeters to 7 meters, extending about 75 meters from east to west. The ore body is wholly enclosed by limestone, and it is obscure whether this is quite indifferent from No. 2 or not.

No. 3 is situated on the ridge about 300 meters southeast from No. 2 (Fig. 2). It is contained in banded limestone which may stratigraphically be of upper horizon compared with mica-clayslate. The thickest part of this ore body is 20 meters.

No. 4 (Fig. 3) is to be seen on the northern side of the pass between Sendô and Sinkenri northwest of No. 2. As is shown by No. 1 and No. 2, the ore body is overlain by mica-clayslate and is under-

lain by gray massive limestone. It is elongated about 200 meters from east to west with a steep inclination northward, the thickness commonly ranging from 1.5 meters to 10 meters and being remarkably decreased eastward. The ore body here is closely associated with quartz-porphyry. There are two dykes of this rock in the area. One of these is exposed close to the entrance of the main adit, and it is about 7 meters in width, whereas the other traverses the ore body in the adit and is estimated to be 10 meters in the widest portion.

No. 5 lies on the hill about 750 meters southeast of No. 4, but it is a small mass 4.5 meters in the maximum thickness.

Besides these, an outcrop is found in mica-clayslate exposed in the valley about 500 meters north of No. 4. There are also many other minor ore bodies in the banded limestone of this area.

(7) Syôkotuhô-Ryûkôri:—The ore bodies included in the banded limestone of the Seitû-san area are traceable further southwestward along the southern foot of Syôkotu-hô where they are often thickened to some extent. The largest one is exposed close to Zyundô (鴉洞), indicating a strike of N 50° E and a dip of 60° northwestward. The ore body is mainly found in a banded limestone: it is about 600 meters in length and is more than 20 meters in the thickest part.

The ore deposits again appear on Tesseki-hô opposite Zyundô and show a discontinuous extension of about 1,600 meters southwestward on the top of hills, until they disappear under the Quaternary fluvial deposits near Zensondô (全村洞). At this place, two outcrops are seen in banded limestone exposed in open pits, the upper one being 10 meters in thickness. There are also some residual deposits on the hills extending northwestward from here.

(8) Sinkenri-Ryûdenri:—Some residual deposits are found at both sides of a pass called Sinken (新峴). They are arranged in two zones, the northern one being close to mica-clayslate bed, while the southern one is scattered in the area occupied by banded limestone. The deposits near mica-clayslate bed are of small scale, but those in banded limestone are traceable about 1,300 meters. Geologically speaking, they are quite similar to the surface deposits at Seitû-san and Syô-

kotu-hô. Remarkable ore bodies, 500 meters or thereabouts in their total length, are also to be seen on the slope of hill 1,200 meters southeastward from Sinsô (新倉) of Ryûdenri (龍田里), where a massive limestone is widely exposed.

(9) Ryûwari:—The residual deposits of this area are found at two places. One of these lies scattered on the eastern slope of a small hill extending northward close to Kizyôdô (龜城洞), while the other is distributed along a road leading from Ryûkôri (龍興里) to Heiinri (平院里).

(10) Ryûkôri-Ryûnanri: The deposits begin to be exposed on the hill just behind Tôdô (沓洞) and end in the vicinity of Nanzandô (南山洞), crossing the hills at Hôsyôdô (鳳章洞), Madô (麻洞), and Syôkenkyori (松峴巨里). They are scattered in banded limestone at Tôdô, Syôkenkyori, and Nanzandô, but in massive limestone at Madô and Hôsyôdô. Among these, the main ones are represented by those of Madô and Hôsyôdô. Sometimes, they appear as lenticular masses about 5 meters in the thickest part. Some of these ore-bodies have been worked on a small scale. The deposits on the hill west of Nanzandô are, on the other hand, entirely contained in residual clay. Besides these, very small exposures are isolated on the top of a hill about 1,000 meters southwest of Syôkenkyôri and also in mica-clayslate of the northwestern slope of the opposite hill along the road between Syôkenkyôri and Katukendô (葛峴洞).

(11) Gohô-Enhô:—The ore bodies are sometimes arranged along the contact between limestone and mica-clayslate. The best example is shown by the deposits exposed on the western slope near the top of Gohô where they are found in residual clay. Such an area extends about 700 meters along the exposure of mica-clayslate, and the ore bodies here are 4.5 meters in the thickest part. The residual deposits in the limestone area can be seen on the southeastern slope of En-hô. They have once been excavated by open working. The occurrence of similar deposits is also known in the residual clay derived from mica-clayslate. There are remarkable exposures on the ridge between these two places mentioned above.

**(II) Haematite and limonite deposits of the Inritu Mine.**

The deposits of the Inritu Mine (Fig. 6) are sporadically distributed in the hilly area about 5 kilometers from northwest to southeast, including Yôsendô (楊川洞), Tyôren (長連), Koken (古縣), Kinzanpo (金山浦), and Nôson (農村). Most of these are found in limestone and its residual clay, but they sometimes appear in biotite-granite, clayslate, and along the contact between limestone and clayslate or granite. The iron ores here are now taken out by an open cut.

(1) Haematite and limonite deposits in limestone and its contact with clayslate.

(i) The ore bodies exposed in the vicinity of Yôsendô (1), a small village at the northern end of the mining area, are found in the mottled limestone associated closely with diopside rock, indicating the strike of  $N 40^{\circ}-50^{\circ} W$  and the dip of  $50^{\circ}-70^{\circ}$  northwestward. Such exposures are traceable about 200 meters close to the sea coast. The largest mass is to be seen at the southern end of this area: it is 100 meters in length and 30 meters in the maximum width, the ores being chiefly haematite mixed by limonite.

(ii) A large amount of iron ores have hitherto been supplied from Tyôren (2) about 2 kilometers east of Yôsen (Fig. 9). The extensive open working has been tried on the hill only 23 meters high above the surrounding base ground. The ore bodies are exposed at several places, being contained in the alternate beds of clayslate, banded limestone, and massive limestone. The chief one extends north north-eastward and inclines  $20^{\circ}-45^{\circ}$  west north-westward. It seems to be a lenticular mass with some irregular outline and is 100 meters or thereabouts in the thickest part. So far as is known at present, its extension is more than 200 meters in total. On account of the presence of a fault with a trend from east to west, the southern end of it is disturbed and turns downward. It was already excavated down to the sea level.

(iii) The Inritu Mine is now chiefly worked on the hill just be-



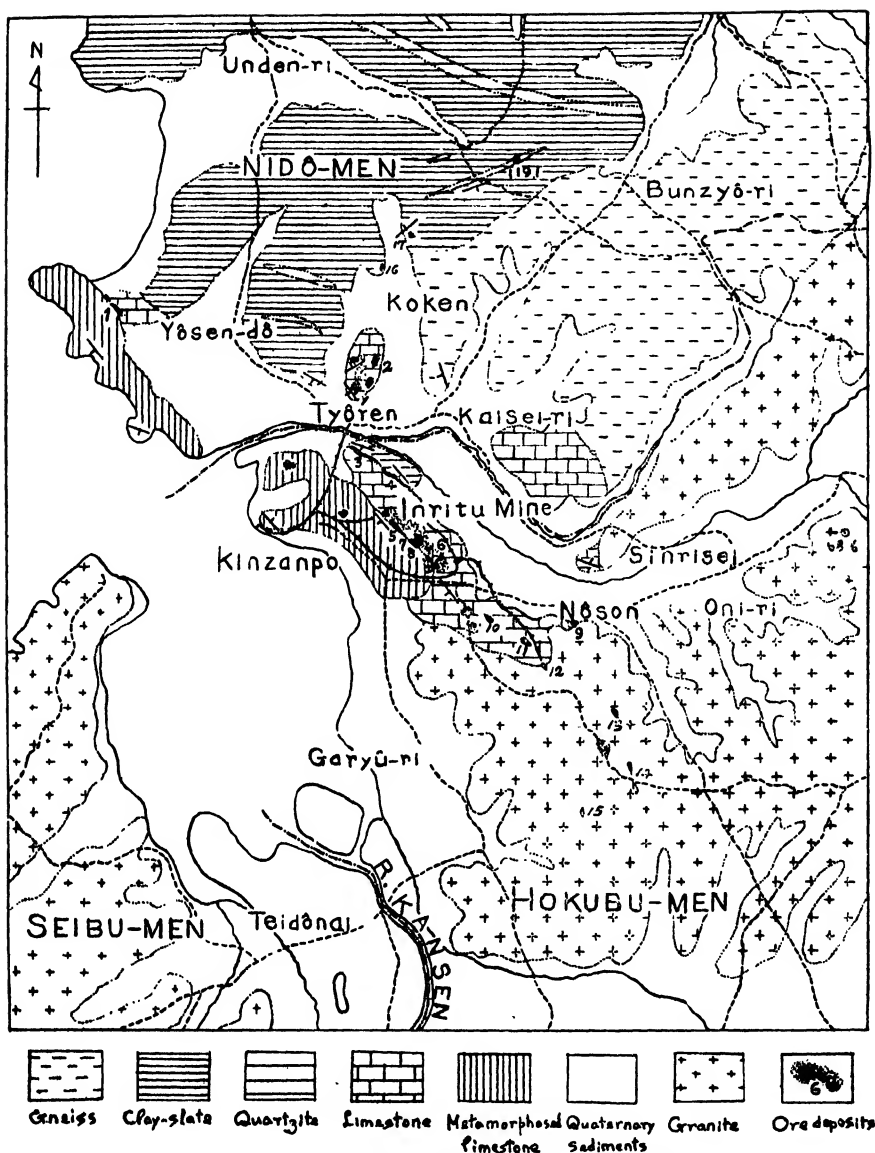


Fig. 6.

Geological map of the Inritu Mine and vicinity.

hind Kinzanpo (Fig. 7), where banded limestone and clayslate are well exposed together with diopside rock and granite.

The deposits are found in five different horizons of banded lime-

stone. Among these, the ore body of Sankakukô (三角坑, 3) is situated at the northern end of the area, being underlain by clayslate with a yellowish-gray colour due to weathering (Fig. 7). This ore body extends about 500 meters and branches into two zones. It shows a strike of  $N48^{\circ}W$  and a dip of  $40^{\circ}-45^{\circ}$  to the southwest. The ore body has a variable thickness from place to place and is sometimes thickened to 12 meters or thereabouts.

Two outcrops of Honkô (本坑, 4) are lenticular masses lying at a short distance southeastward from Sankakukô. They are of still upper horizon compared with that of Sankakukô. The

eastern outcrop is 20 meters in length and 4 meters in thickness, in-



Fig. 7.

Inritu Mine looking from the northeast. (1) = Sangôkô (三號坑), (2) = Sankakukô (三角坑).

clining 40° southwestward. It is considered to be of slightly upper horizon than the western one.

The ore body was deeply excavated at Nigôkô (二號坑, 5) (Fig. 14). It lies between banded limestone and diopside rock with an inclination of 70° WNW. The horizon of limestone exposed here is probably above that of Honkô. As can be observed in the open pit, the ore body occurs as a typically lenticular mass, 120 meters in length and 30 meters in the thickest part. The downward extension is confirmed to the depth of about 60 meters from the top of the outcrop. Diopside rock is a modification of a banded limestone and forms the hanging wall of the deposit. It is a characteristic rock with a mottled appearance and a dark gray colour which changes to dark yellowish-green by weathering. This rock is penetrated by a fine-grained granite at two places. In these cases, some limonite ores rich in quartz can be observed close to the granite exposure. There is a fault nearly parallel to the trend of the ore body in the adits cut toward the foot wall, yielding there a clay zone 1.3 meters in thickness. The ore body is more or less distinctly bordered against both the walls and thins out into the yellowish-green diopside rock. The eastern extension of it is worked at Sinnigôkô (新二號坑, 8), where the ore body rests upon the limestone of the foot wall of Nigôkô.

The ore body of Motosangô (元三號, 7) is found at the south of Nigôkô adjacent to it and is probably of the same horizon. It has hitherto been worked to some extent, and the remaining part can not be seen at present, because it is largely concealed under the clay brought out from old open pits. It is, however, reported to have been 150 meters in length and 60 meters in width before open working.

The open pit of Sangô (三號, 6) is now extensively worked at the southern end of the hill, where the ore bodies are separately exposed at three places (Fig. 7). Among these, the eastern one is originally connected with the central one, and both are likely to be detached later by faulting. The eastern mass extends about 200 meters from WNW to ESE and inclines about 45° east north-eastward.

It is partly thinned, but shows a tendency to expand again southward, branching off an ore body, about 100 meters in length, from it. The central mass may be connected with that of Motosangô and runs from northwest to southeast with very steep inclination. It can be traced about 90 meters and is 30 meters or more in thickness. The mass is in contact with a porphyritic granite, 50 meters in width, close to its southern end and here slightly changes its trend southward. It is also associated with diopside rock which always appears at the hanging wall. The western mass lies at a little higher position. It is a small body, 3 meters in the thickest part, being characterized by the abundance of barite crystals.

(iv) The limestone of Nôson (農村) contains small ore bodies at three places. One of these is the outcrop of Nôson No. 1 (9) in the vicinity of a village called Nôson. The ore body here lies at the contact of limestone with porphyritic granite which is exposed at the southern periphery of the old open pit. As can be seen in the western ore body of Sangô, the haematite and limonite ores from this place abundantly contain barite crystals.

The outcrop of Nôson No. 4 (10) is on the hill about 500 meters southwestward from the southern end of the Sangô open pit. The ore body is about 5 meters wide, but is unknown in its extension. Haematite and limonite collected from this outcrop is also remarkably mixed with barite. Nôson No. 4 Higasikô, (東坑, 11) is, on the other hand, only covered by residual clay containing boulders of haematite and limonite, large or small, on the hill east of Nôson No. 4, being separated by a valley between them. They are probably connected with one another.

## (2) Haematite and limonite deposits in granite.

The granite exposed widely at Nôson and its environ contains irregular masses of iron ores and is traversed by their veins of a small scale. In this area there are four main outcrops.

The irregular mass of Nôson No. 2 (12) is associated with veinlets

in a porphyritic granite close to the contact with limestone. There is also the outcrop No. 5 (13) on the hill 650 meters southeast of the preceeding one. It is a haematite network. Nôson No. 6 (14) is a haematite veinlet traversing a trail at the position about 400 meters south from here, and it is probably an extension of Nôson No. 5. Besides, a highly inclined vein of Nôson No. 7 (15), 1.5 meters in width, is exposed on the slope of a hill 400 meters southwest of Nôson No. 6.

(3) Haematite and limonite deposits in clayslate.

There are two outcrops of haematite and limonite deposits in clayslate exposed along a trail in the vicinity of Koken (16, 17). They are small lenticular masses. The ore body lying at the eastern side of this trail is 58 meters in length and 10 meters in width, being chiefly represented by haematite ores, but another one is much smaller. The limonite ores here are often associated with barite crystals.

(III) **Haematite and limonite deposits of the Kenziho  
Mine and its environ.**

The deposits are found in the Ordovician limestone, the Upper Cretaceous conglomerate, and their residual clays distributed widely in the monotonous land around Kenziho (Fig. 8), including such places as Syôzandô (商山洞), Keihori (系浦里), Tôri (桃里), Koken (古縣), Seisekidô (青石洞), Hebiokô (蛇坑), Itigôyama (一號山), Maruyama (丸山), and Dôzan (銅山). They are sometimes associated with siderite at Keihori, Maruyama, Itigoyama, and Hebiokô, where varying transition into one another can be investigated.

So far as can be observed at present, there are five different types of deposits in this area, viz., (1) lenticular masses in limestone (Fig. 17), (2) irregular veins in limestone, (3) residual deposits, (4) irregular masses in the caves of limestone, and (5) networks in conglomerate.

Among the deposits in the Ordovician limestone, those of Keihori and vicinity are represented by (1), (2), and (3). The lenticular



are mostly 1 meter or thereabouts in thickness and always thin out within a short distance. No barite crystal can be seen in this case.

Irregular veins and networks are to be observed at Keihori, Itigôyama, and Maruyama. The thickness of these veins is commonly very variable and does not exceed 30 centimeters in maximum. Abundant barite occur in the networks traversing light gray limestone at Itigôyama.

The mining area is almost covered by residual clays, in which boulders or pebbles of limonite or haematite are widely distributed. A large amount of these ores has hitherto been supplied from the open pits of such places as Keihori, Sakamotoyama (板本山), Itigôyama, Marayama, Hebikô, Seisekidô, Koken, Dôzan, etc. Some of these places are still in operation. The ores in residual clays appear in varying size, from 2-3 millimeters to 2 meters or more in diameter. They are not uniformly distributed, but there is a tendency to be concentrated particularly in the residual clay near limestone beds.

Cave deposits are always of very small scale without any economic importance, being associated with clay in the hollows opened by ground water.

The haematite deposits of Tôri are exposed on a hill 4 kilometers north of Kenziho, and it is somewhat different from others, since they are found in the alternate beds of conglomerate, sandstone, and shale corresponding the Upper Cretaceous in geological age. The haematite contains abundant barite, cementing and penetrating the angular pebbles. The concentrated portion was formerly excavated here and there.

#### (IV) Limonite deposits of the Kokkyô-Tentya district

The limonite deposits are generally found in the hilly area occupied by dolomitic limestone of the Chôsen System which is stratigraphically lower than mottled limestone rich in such fossils as Actinoceras, Orthoceras, Brachiopods, etc. They are sporadically distributed at Teisiri (亭子里), Kuiri (九伊里), Keitenri (敬天里), Tyôsari (長佐里),

Naitôri (内東里), and Naikyôri (内橋里), depending upon the geological structure of this district (Fig. 11).

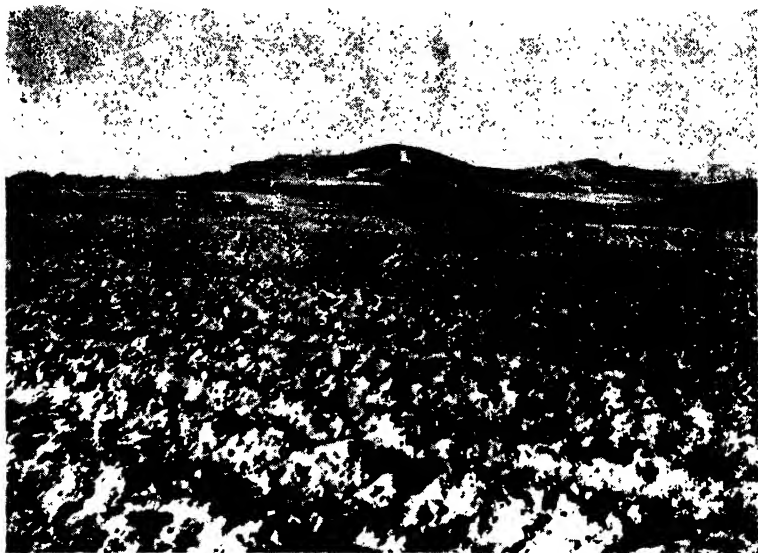


Fig. 9.

Tyôren of the Inritu Mine looking from the southeast.



Fig. 10.

A monotonous hilly land where limonite ores have been obtained by open cut working. Gatai of the Kokkyô-Tentyû district.



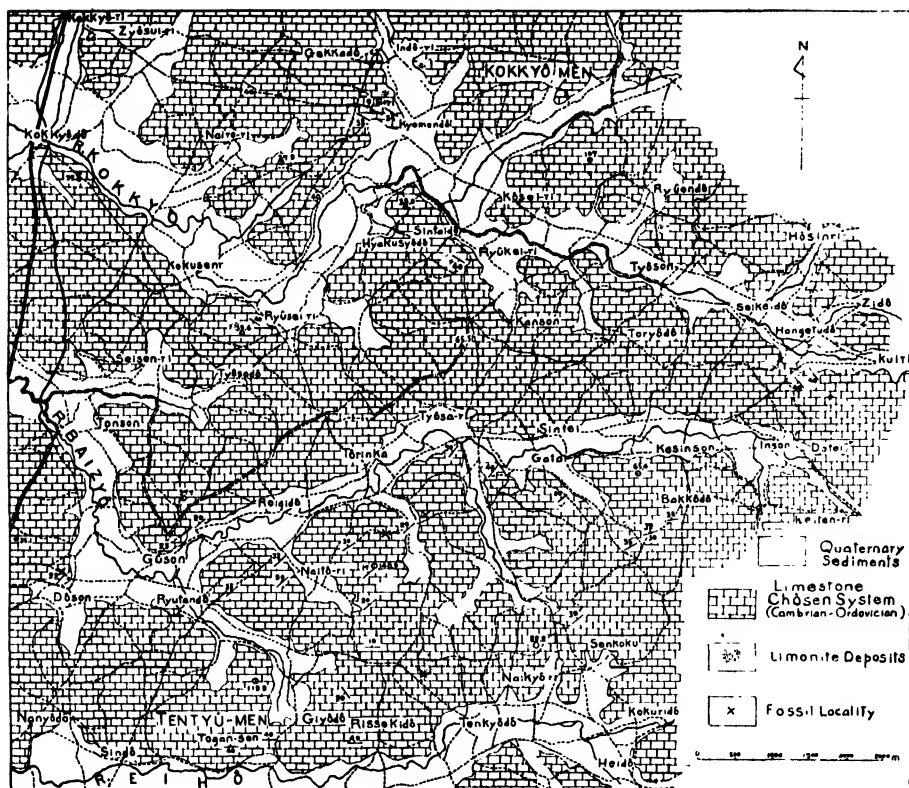


Fig. 11.

Geological map of the Kokkyô-Tentyû iron-bearing district.

There are numerous small deposits both in limestone and its residual clay. Among them, those of Naikyôri, Tyôsari, and Keitenri are the most remarkable examples. Various characters of the deposits can be investigated at Gatai (瓦塔) of Tyôsari, where ores partly occur as irregular or pipe-shaped masses in dolomitic limestone (Fig. 10). Such ore bodies are mainly composed of limonite and pyrite, being sometimes 2 meters or more in diameter. The limonite ores derived from pyrite are crumbled into the residual clay altered from limestone in weathering. In this case, ores are used to be crowded at the bottom of residual clay 60 centimeters to 20 meters in thickness. The boulders or pebbles of limonite ores mostly range between 2 millimeters and 1 meter in diameter.

Sometimes they are mixed by a minor amount of haematite, as is shown by Tenkyôdô (砧橋洞) of Naikyôri or elsewhere. Not only here but also at other places, limonite ores have been taken out by the open cut method, and they have chiefly been supplied from residual deposits. There are, therefore, many small open pits in the area mentioned above, but most of them are now abandoned.

The ores of these deposits generally increase pyrite and sometimes pass into its mass entirely in depth. They are not associated with siderite. In this point of view, the deposits here are somewhat different from those of other districts under consideration.

#### (V) Haematite deposits of the Angaku Mine

There are several haematite deposits in the Upper Cretaceous conglomerate resting upon the granite-gneiss which is exposed in the area including Ryûmon-men (龍門面), Ankoku-men (安谷面), and Bunzan-men (文山面) of Angaku County (Fig. 12). Some of these deposits are found close to granite-gneiss, whereas the others are in still upper horizon. They are thus traceable about 5 kilometers from northwest to south, well developing at Itigôyama (一號山), Nigôyama (二號山), Sangôyama (三號山), Sigôyama (四號山), Gogôyama (五號山), and Goryû-san (五龍山).

The deposits here occur in platy or bedded forms, but sometimes traverse conglomerate beds as veins. In this case, haematite deposits are absolutely absent in granite-gneiss which is bordered against the above-mentioned conglomerate by a fault plane.

The boundary between deposits and wall-rocks is mostly distinct.

Some of these deposits are accompanied by thin quartzite beds with a light gray or reddish-brown colour. Besides, main ore bodies branch off irregular haematite veinlets or stringers, 1 to 2 cm. in width, into country rocks and generally incline 25° or thereabouts eastward.

Among these, the deposit of Itigôyama is exposed on the hill about 300 meters west of Sekiyôri (石陽里). It is about 250 meters in length and 4 meters in the maximum thickness, trending N 20°-30° E

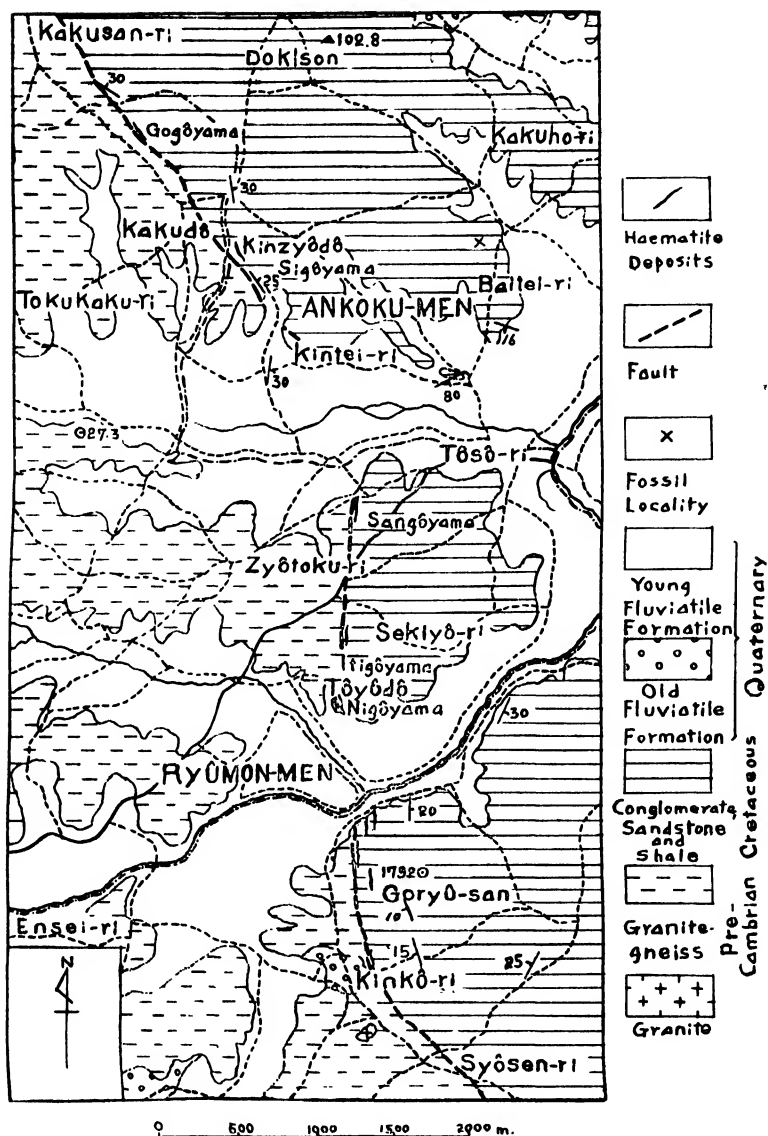


Fig. 12.

Geological map of the Angaku Mine and vicinity.

and dipping  $20^{\circ}$ – $25^{\circ}$  ESE. Similar types of deposit were formerly worked at Nigôyama near Tôyôdô (東陽洞) south of the above-mentioned place. The deposit here lies in conglomerate close to granite-gneiss. In this case, quartzite bed, 2 to 3 meters in thickness, can be seen

at hanging and foot walls. The quartzite of the hanging wall gradually passes into conglomerate. The ore body has the same strike and inclination as that of Itigôyama. It extends about 300 meters and is 2 to 6 meters thick. There is also a deposit at Sangôyama about 700 meters north of Itigôyama. It is contained in conglomerate adjacent to granite-gneiss exposed at a short distance north of the road leading to Tôsô (東倉). The ore body can be traced about 100 meters, and its thickness is 3 meters in maximum. Another deposit, 2 to 3 meters thick, appears on the hill called Sigôyama about 500 meters southeast of Kakudô (鶴洞), extending from northwest to southeast at the bottom of conglomerate bed. The deposit of Gogôyama is to be seen in conglomerate close to the fault between Kakudô and Kakusanri (鶴山里). It indicates a strike of northwest and an inclination of  $27^{\circ}$ - $30^{\circ}$  NE. The thickness and length of this deposit are not unfortunately confirmed. Moreover, a small deposit is exposed at the western foot of Goryû-san situated at the southern end of this area. It is overlain by conglomerate and is underlain by reddish brown quartzite or granite-gneiss. The outcrop extends about 25 meters from north to south and inclines  $30^{\circ}$  or thereabouts eastward. The thickest part is estimated to be 2 meters, and its downward extension is not much expected.

## VI. Haematite and limonite deposits of the Sainei Mine district

Numerous deposits of haematite and limonite are distributed in the hilly area extending from Sainei-men (裁寧面) to Seisen-men (清川面) (Fig. 13). They are found in the Goryû-san and Kanpô-san Formations corresponding to the Upper Cretaceous and limestone overlain unconformably by the Goryû-san Formation, as well as in the residual clay derived from them (Fig. 19).

The deposits contained in the Upper Cretaceous sediments take a bedded form and also occur as irregular masses or networks in shale, sandstone, and conglomerate. Such irregular masses and networks

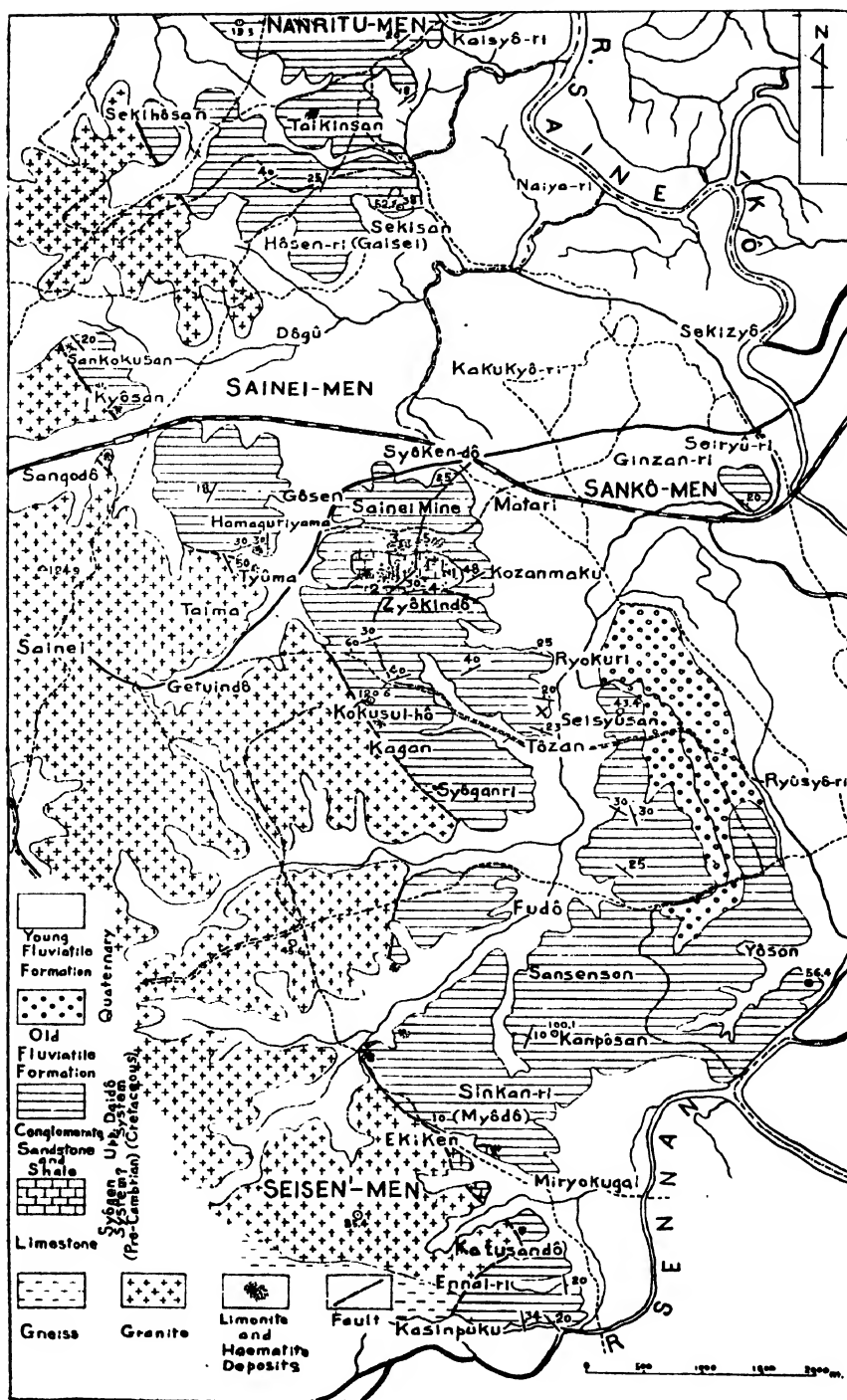


Fig. 13.  
Geological map of the Sainei Mine and vicinity.

can similarly be observed in limestone (Pl. XXI, Fig. 3). The ores are abundantly preserved as irregular masses, boulders or pebbles,



Fig. 14.

An old open pit of Nigôkô, Inritu Mine.

G = Granite injected into limestone.

LS = Limestone.

large or small, in residual deposits. Such various features can be well studied at following places; Taikinsan (秦金山), Sankokusan (山谷山), and Kyôsan (筥山) of the Nanyô (南陽) Mine, No. 1-No. 5 sections, Hamaguriyama (蛤山), and Tyûma (中麻) of the Sainei Mine, Kokusui-hô (國水峯), Tyôsyadô (長舎洞), Ryûzan (龍山), Ekiken (驛峴), Miyokugai (未力街) and Katusandô (葛山洞).

The occurrence of irregular masses in the Kanpo-san Formation is known at Taikinsan of Nanritu-men (南栗面)

where it is overlain by a porous siliceous rock altered probably from conglomerate. So far as has been observed by the writer several years ago, it was about 100 meters in length, and the maximum thickness of the exposed portion was estimated to be 25 meters at that time. The limonite ores of this place are mostly siliceous and are associated with quartz, manganese ores, and white clay.

There are old open pits and adits of Sankokusan on the hill about 3 kilometers southwest from Taikinsan. The ore bodies here are contained in the Goryû-san Formation and limestone of still older geological age. In the former case, they are arranged parallel to the bed-

ding plane of three different beds, and each of these is nearly 1 meter thick, being respectively separated by alternate beds of shale and sandstone about 1 meter to 1.5 meters in thickness. The latter case

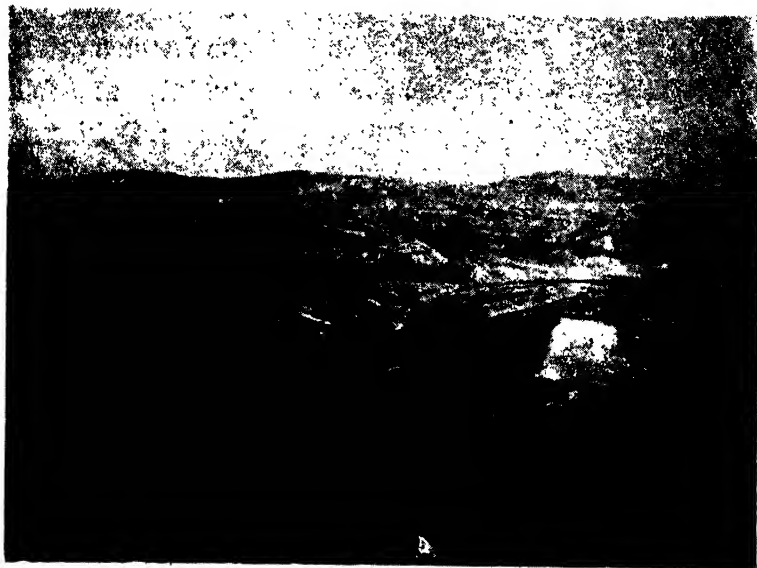


Fig. 15.  
Sainei Mine looking from Kokusui-hô.



Fig. 16.  
Open pit of No. 2 section, Sainei Mine.

is, on the other hand, always represented by irregular masses. The area is traversed by many small faults with the trends of  $N 20^{\circ}-30^{\circ} W$  or  $E-W$  and is consequently displaced here and there. The ores are mostly limonite with a minor amount of haematite and are said to be associated with barite. Economically the ores in limestone are of good quality, whereas those in shale or sandstone are highly siliceous.

Ore bodies similarly occur in the alternate beds of shale and sandstone of the Goryû-san Formation at Kyôsan. The largest one has been excavated at the southern open pit. It is considered to be about 300 meters long and 7 meters in the thickest part. This ore body is connected with that of the northern open pit where it is said to be about 100 meters in length and 9 meters thick at the maximum. Its western periphery is displaced downward and is directly in contact with schistose granite. Here the ores are mostly limonite and are almost free of haematite.

Haematite and limonite deposits are extensively worked by open cut methods at the Sainei Mine (Fig. 15 and Fig. 16). They are found in conglomerate, sandstone, shale, limestone, and residual clay. The geological



Fig. 17.

A limonite lens between banded limestone beds.

The limonite ores here are an alteration product of siderite containing abundant barite crystals.

L=Limonite lens with barite crystals,

Ls=Limestone.

Keihorî near Kenziho.





Fig. 18.

A Limonite mass intercalated between shale bed.

L = Limonite mass, Sh = Shale. Sainei Mine.

age of limestone exposed here can not exactly be confirmed, but it may be more reasonable to assign it to be of the Syô-gen System. The alternate beds of conglomerate, sandstone, and shale belong to the Goryû-san Formation and unconformably cover the above-mentioned limestone.

The ores are mostly supplied from the area occupied by limestone and residual clay. In this case, the ore masses indicate varying ranges in size. For example, a large one, 100 meters

long and 30 meters thick, have been excavated at No. 2 section (Fig. 16).

The exposure of limestone can be observed respectively at Nos. 1, 2, 3, 4 sections, where it is complicatedly traversed by numerous veins of limonite, siderite, and haematite. Some ore bodies lie close to the contact of limestone and the Upper Cretaceous sedimentaries. The ore bodies in conglomerate are widespread at Nos. 1, 2, 4, and 5 sections. There are sometimes irregular masses which are traceable about 150 meters between Nos. 4 and 5 sections. However, the occurrence of remarkable ore bodies has not yet been known in the alternate beds of sandstone and shale. Even the large mass is 50 meters in length and 2 meters in the maximum thickness, as can be seen at No. 2 section. Commonly, they take irregular bedded forms and are

arranged parallel to the bedding planes of shale and sandstone (Fig. 18) distributed at Nos. 2, 3, 4, and 5 sections. As a rule, such masses are used to thin out abruptly and partly pass into networks.

The Goryû-san Formation containing haematite and limonite deposits is extremely disturbed and is characterized by the sudden change of strike and dip. Therefore, the ore bodies arranged along the bedding plane are occasionally inclined  $50^{\circ}$  to  $60^{\circ}$ . The limonite ores from No. 1 section are often associated with abundant barite crystals. The close association of haematite and limonite is a very common feature at Nos. 2, 3, and 4 sections. Haematite and psilomelane are particularly abundant at No. 2 section. The ores are, on the other hand, almost limonite at No. 5 section.

Similar types of deposits are also distributed at Hamaguriyama, where shale, sandstone, and conglomerate of the Goryû-san Formation as well as limestone of the unknown age are exposed. This limestone projects out between the exposures of Goryû-san Formation. However, it may be an extension of limestones predominant in another area of the Sainei Mine. The sediments of the Goryû-san Formation here have varying trends between N-S and  $N30^{\circ}E$ , dipping  $20^{\circ}$  or there-



Fig. 19.

Fragmental ores in residual clay.  
O = Haematite and Limonite ores, R = Residual  
clay. Hamaguriyama, Sainei Mine.

abouts westward or northwestward. Main ore bodies are still preserved side by side at three places. One of these is seen at the old open pit excavated at the eastern corner of the area and is 21m.  $\times$  21m.  $\times$  9m. in size. The mass of the western end is 2 meters thick, but is unknown in its extension. The massive limestone is rich in networks of micaceous haematite (Pl. XXI, Fig. 3) and limonite, which sometimes combine together to form irregular lumps.

There are several outcrops composed of limonite and haematite at Tyûma (中麻) southwest of Sinyô (新陽). The largest one is about 30 meters from north to south and is 1 meter or more in thickness, being in association with silicified conglomerate.

Haematite veinlets and its irregular masses are frequently noticeable in the Upper Cretaceous conglomerate of Kokusui-hô. The mode of occurrence of haematite ores somewhat resembles that of the Angaku Mine.

An exposure of the limonite deposit lies just beneath the light gray shale at old open pit about 700 meters northwest of Ekiken (驛峴) of Seisen-men. It has a bedded form and can be traced about 100 meters, showing a strike of N 60° W and a gentle inclination north-northwestward. Its foot wall is concealed beneath drifts, and, therefore, the whole thickness can not be confirmed in the present condition. The exposed part is, however, 4 meters or thereabouts in the thickest part.

The features of ore bodies are entirely obscure at Miryokugai of Seisen-men, because they are now buried beneath drifts. In this case, limestone frequently projects out on the surface of residual clay, and its association with the shale of the Goryû-san Formation suggests some similarity to the deposits of Sankokusan or elsewhere. Moreover, small residual deposits scattered over at Sangodô (山後洞) near Kyô-san, Tyôsyadô (長舎洞), Katusandô (葛山洞) south of Miryokugai, Samsendô (三泉洞), etc.

Residual deposits are the important source of haematite and limonite ores in this district, and they have largely been excavated at

many places, but are now almost abandoned except the main part of the Sainei Mine.

## VII. Haematite and limonite deposits of the Ginryû Mine and vicinity

Several haematite and limonite deposits are found on the monotonous hilly land extending northward from Tyôzyu-san (長壽山), which is elevated to 747 meters above the sea-level at the southeastern corner of Sainei-gun of Kôkai-dô. The area is built up of quartzite, limestone and clayslate assigned to be of the Syôgen System, being covered by the tufaceous rocks of the Upper Daidô System and younger or older fluviatile deposits (Fig. 20). Besides, limestone and clayslate are injected by lamprophyres.

Various features of these deposits are able to be investigated at

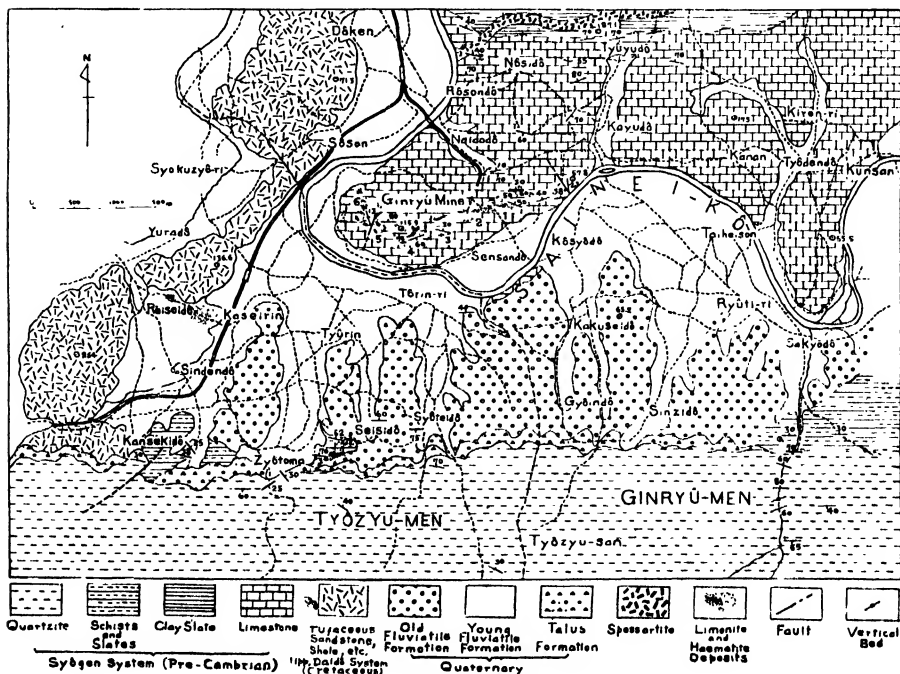


Fig. 20.

Geological map of the Ginryû Mine and vicinity.

the Ginryû Mine, which is now worked at Naitodô (内土洞) and Kazan (花山). Most of the ores have hitherto been supplied from the former situated on the hill at the northern side of the Sainei-kô.

The ores preserved in varying types of limestone and their residual clays, In limestone, ore bodies occur as lenticular masses and in bedded forms as well as in networks. When these limestones are weathered to *terra rossa*, such ore bodies are isolated from the mother-rocks and scattered in it as boulders or pebbles which are particularly abundant at its bottom. There are also some irregular masses in limestone caves where they are associated with residual clay.

The residual deposits of No. 1 section are largely derived from Cryptozoon(?) -bearing limestone and partly from banded limestone. The largest boulders of these cases often reach 2 meters in diameter. Innumerable boulders and pebbles are also widespread in the *terra rossa* of Nos. 2 and 3 sections. In connection with these, there is a huge ore body which is sporadically traceable about 700 meters along the limestone bed of both sections. At No. 2 section, the southern margin of this enriched part is displaced by a fault with a trend from east to west. Its continuously exposed portion of No. 3 section measures about 400 meters in length and 2 meters in the average thickness. It lies in Cryptozoon(?) -bearing limestone and also in banded limestone beneath it.

An exposure of ore body, 3 meters thick, is excavated on the eastern slope of Sekkaiyama (石灰山) belonging to No. 4 section. It is overlain by a dark gray limestone and is underlain by a slightly siliceous limestone with a light gray colour due to weathering. Besides, there are three main ore bodies at No. 5 and No. 6 sections. Two of these are arranged at the lower position and are more siliceous compared with the upper one.

The ores are represented by limonite with exception of those at Nos. 5 and 6 sections where haematite is associated with limonite. Barite crystals are contained in limonite ores from No. 2 and No. 4 section.

The open pits of Kazan recently began on the hill between Ka-

seirin (下西林) and Reiseidô (冷井洞) near the Tyôzyû Station. The ores of this area are taken out from the residual clay derived from underlying limestone and gravel beds covering it. The boulders are sometimes 2 meters or more and are mostly limonite.

Other small residual deposits are known at two places on the hills between Seisidô (星子洞) and Zyôtôma (上刀馬) close to the northern-foot of Tyôzyu-san. They are undoubtedly the weathered products of iron-bearing limestone.

### VIII. Haematite and limonite deposits of the Kasei Mine and vicinity

The western side of the Tyôzyu-san range passes into the hilly land, where limestone and clayslate of the Syôgen System are extensively exposed. The northern margin of this area is probably displaced by a fault from the Tyôzyu-san quartzite mass, although the dislocation zone is almost obscured by the thick talus deposits. The western periphery of it is surrounded by the exposures of gneiss and mica-schist (Fig. 21).

The haematite and limonite deposits here are contained in the residual clays or *terra rossa* altered from limestone (Fig. 23) and are sporadically distributed at the both sides of a valley extending from east to west between Bunseidô (文井洞) and Kusson (窟村). They are represented by residual deposits, and the ores are especially concentrated at Natumeyama (槲山), Kasamatu (笠松), Gayôri (峨洋里), Komatuyama (小松山), Hakkatudô (白活洞) and also in the area including Nansidô (南支洞), Nan-zan (南山), Syama-san (車馬山), etc.

Considering the distribution of the deposits, the area had better be divided into two parts, north and south, along the above-mentioned valley. The northern area is largely occupied by younger or older fluviatile deposits with minor exposures of limestone, lamprophre, quartz-porphyry and felsite. Among the residual deposits of this area, those of Natumeyama were formerly prospected. Here the exposure of limestone is to be seen on its southern slope, showing a strike of

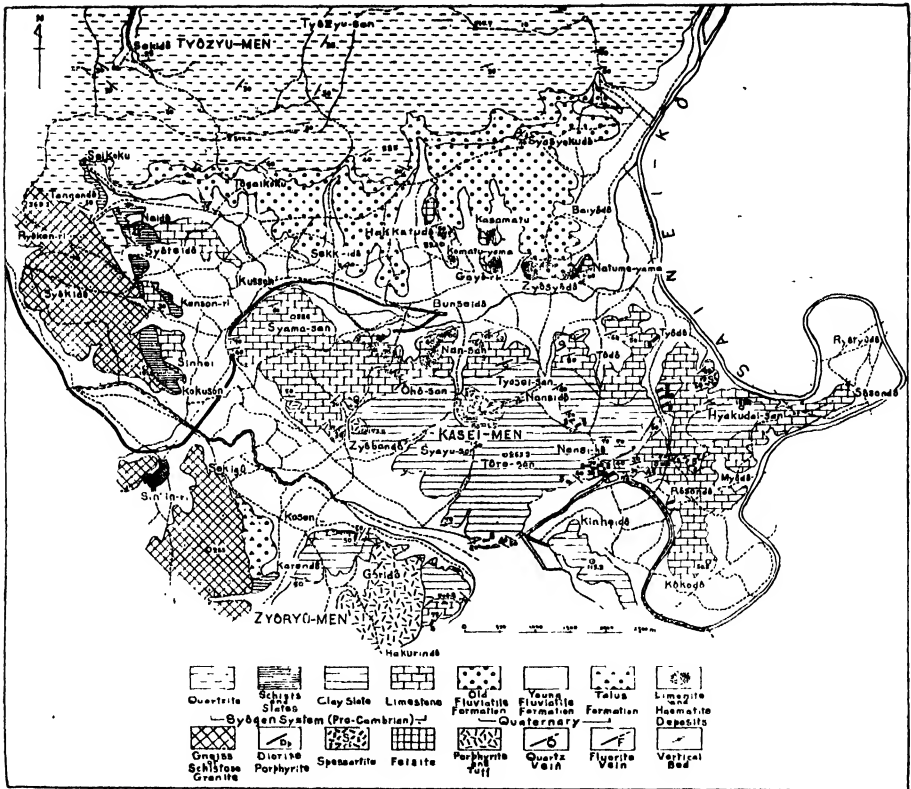


Fig. 21.

Geological map of the Kasei Mine and vicinity.

N  $70^{\circ}$  E and a dip of  $45^{\circ}$ – $60^{\circ}$  southwestward. The northwestern slope is, on the other hand, covered by gravel beds and residual clay. The gravel beds frequently measure 3 meters in thickness. Haematite or limonite ores are richly preserved in this *terra rossa*, being associated with two small sills of intensely decomposed quartz-porphyry. There are also some deposits in *terra rossa* exposed on a hill just behind a small village called Zyôsyôdô (上抄洞). They are probably connected with those of Natumeyama. Simillar features can be noticed on the hill extending northward from Gayôri. The surface here is almost covered by gravel beds, and residual deposits are mainly found on the top of the hill called Kasamatu and also at its southern end. Limestone is exposed only at its western side and is injected by biotite-quartz-porphyry. The deposits of Hakkatusan (白活山) and Komatu-



Fig. 22.

The southern area of the Kasei Mine looking from Syamasan.

X—Natumeyama.

yama (小松山) are situated on a hill between Gayôri and Taityôri (大廳里). In the former case, ore is abundantly found in *terra rossa* associated with limestone which is exposed on the southern slope of Hakkatusan. This limestone is pierced by felsite and its associated rocks. Hakkatusan is built up of such igneous rocks. The exposure of limestone and *terra rossa* are restricted within a small area, being mostly hidden beneath gravel beds. The deposits again appear at Komatuyama close to the southern end of this hill.

The deposits of the southern area are to be observed in the northern half of the hilly land including Tôrei-san (頭嶺山), Syayu-san (車路山), Ôhô-san (鷹峰山), Tyosei-san (猪井山), Nan-zan, etc. (Fig. 22). The area gradually elevated southward and is sometimes highly cliffed along the Sainei-kô. Clayslate is chiefly exposed at the elevated area, whereas limestone and its residual clay are predominant at the peripheral portion, both being characterized by frequent occurrence of of lamprophyre, quartz-porphyry, porphyrite, quartz vein, flourite vein, etc. Both clayslate and limestone indicate varying ranges of



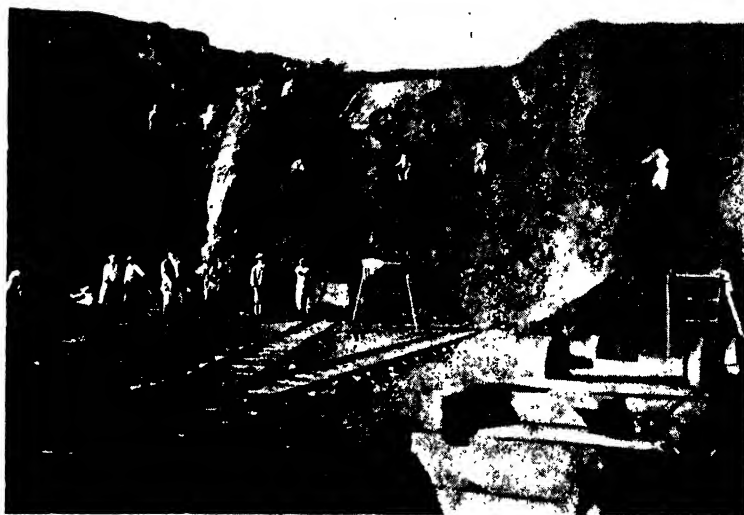


Fig. 23.

Open cut working at the Kasei Mine.

strike between N 65'-80' E and N 65°-80' W and repeat folding with very steep inclination of 70' or thereabouts. Ore-bearing clays are underlain by several types of limestone. Among these, the alternate beds of banded or massive limestone appear at lower horizon and gradually pass into brecciated limestone, dolomitic limestone, and a characteristic banded limestone rich in lenticular calcite veins upward. There are also many rootless limestone masses in residual clay. Some of them are weathered to soft clays with a yellowish-gray colour in the intermediate stage of alteration to *terra rossa*. The open cut working here is operated within the area nearly 2 kilometers from east to west and 500 meters from north to south. At present, the ores are particularly supplied from the open pits opposite the Kasei Station (Fig. 22). Generally speaking, limonite ores are abundantly preserved in the eastern portion, but they are commonly mixed by haematite in the western area. In the latter case, the ores are sometimes associated with barite. Moreover, there are some tendencies that the ore bodies in the clay derived from banded limestone have a banded structure and are traceable for long distances. They are, how-



Fig. 24.

Limestone masses floating in residual clay. Maruyama, Kenziho Mine.



Fig. 25.

Limestone pinnacles in residual clay. No. 1 section of the Ginryû Mine.

ever, found as discontinuous masses in the clay altered from massive limestone and are usually broken into abundant boulders or fragments. One of the remarkable ore bodies is that excavated at the western area.

It is contained in *terra rossa* as well as in banded limestone and massive dolomitic limestone. The ores are mostly composed of porous haematite. When the writer visited there, the ore body measured about 100 meters in length, about 50 meters in width, and about 50 meters in thickness.

The ore bodies are usually abundant in residual clay with a somewhat yellowish-brown colour, but are likely to be scarce in the dark reddish-brown clay. The amount of the ores in residual clay is greatly variable from place to place. Under favourable conditions, it measures one ton or more per cubic meters of clay.

### ORES AND THEIR MODES OF OCCURRENCE

Haematite and limonite are the main minerals in the iron ores from the above-mentioned districts, where the latter is more commonly seen than the former. Although both the minerals are usually found together, they are sometimes in an independent occurrence. The deposits distributed in Kaisen, Inritu, Kenziho, Sainei, Ginryû, and Kasei districts are the most common types and are mainly built up of limonite which is frequently associated with haematite. The ores from Tôri (桃里) near Kenziho and the Angaku Mine are almost represented by haematite with a minor amount of limonite. The haematite ores from the Angaku Mine are, furthermore, intermixed by pyrite and magnetite. It is likewise characteristic that the ores are nearly always composed of limonite in the Kokkyô-Tentyû district.

Siderite is sometimes found in association with the limonite ores from Kaisen, Kenziho, Ginryû Mines, etc. It is usually massive, but often takes a rhombohedral form, incrusting the inside of cavities. The mineral is of primary or secondary origin.

In the deposits of the Kokkyô-Tentyû district, limonite is an alteration product of pyrite as is shown by varying stages of transition between them. The limonite ores are generally porous, but are sometimes compact and massive. Some of these have a slaggy aspect or a porous structure more or less resembling worm-eaten wood.

Such types of ores can be seen occasionally at the Kaisen, Inritu, Kenziho, Sainei, Ginryû, and Kasei Mines. The arrangement of cavities depends upon the original structure of limestone and also the mechanism of precipitation. Thus, the limonite ores yield frequently a banded structure due to the parallel arrangement of cavities. They are also characterized by an onion structure which results from the concentric arrangement of irregular-shaped cavities. The ores with an onion structure are very common at Kenziho and Kasei Mines as well as at Taikinsan of the Sainei district. In these cavities, clayey substances with a yellowish-brown or dark brown colour and quartz powders with a grayish-white colour are often found together. Besides, they are apt to be incrustated by manganese oxides and other types of iron ores. Such incrusting iron ores have a black colour and somewhat different according to place found. Several forms, such as botryoidal, stalactic, mammillary, reniform, acicular, etc. are usually to be seen. The interior of these incrustations is often zoned beautifully and sometimes shows a fibrous or radiate structure. They are always bordered distinctly against the main masses. Microscopical and chemical investigations suggest that some of these are undoubtedly goethite (Pl. XXI, Fig. 4; Pl. XXII, Fig. 1). The type specimens can be collected at Kaisen, Kenziho, and Sainei Mines. Furthermore, limonite ores are not infrequently associated with platy crystals of barite. The occurrence of large barite crystals is hitherto known at No. 1 and No. 4 sections of the Sainei Mine and also at the Kenziho Mine. A similar type of ore is likewise to be seen at No. 2 and No. 4 section of the Ginryû Mine as well as at Zyôsyadô, Komatuyama, and the western part of the southern area of the Kasei Mine. Barite crystals are rarely present in the limonite ores from the Kaisen Mine. The writer found barite-bearing specimens only at Unkokuten. The limonite ores of the Sainei Mine are partly contained in the alternate beds of shale, sandstone, and conglomerate corresponding to the Upper Cretaceous. They are generally characterized by the abundance of white irregular bands or spots consisting of a fine aggregate of quartz.

As can be observed in the Kokkyô-Tentyû district, pyrite passes into varying types of limonite ores. When pyrite is finely crystallized, it is more easily oxidized compared with the aggregate of coarse crystals. It shows a gradual or abrupt transition to limonite. Commonly, compact limonite ores are derived from a fine aggregate of pyrite crystals. Some pyrite mass has numerous flat cavities with parallel arrangement. These cavities are commonly surrounded by coarsely crystallized zones which have a tendency to alter more slowly than other portions. The different rate of alteration, therefore, gives a fine banded structure to the masses in the intermediate stage of oxidation. In the cavities, pyrite is also oxidized to limonite, holding its original crystal form, but botryoidal, mammillary or stalactic inclusions are almost absent. Such a character is much different from that of limonite derived from siderite.

Haematite exists in all the deposits under consideration. There are two varieties, the one being a massive and compact type with a grayish-white or dark reddish-purple colour, while the other micaceous haematite or specularite. At the Angaku Mine, the ores are usually represented by the above-mentioned types of haematite together with a minor amount of magnetite and pyrite. Among these, compact ores with a grayish-blue colour are microscopically a fine aggregate of minute quartz grains and platy or flaky haematite crystals ranging from 0.03 mm. to 0.2 mm. in length. The interstices of haematite crystals are filled up by minute quartz grains. The thin section of the flaky haematite shows frequently a blood-red colour by the transmitted light under the microscope. Magnetite crystals included in this haematite mass are more or less elongated, suggesting that the crystallization of these two minerals is likely to be overlapped. Pyrite is more predominant than magnetite, and it is sporadically present in some compact types of haematite (Pl. V, Fig. 3). Besides quartz and calcite, barite is rarely associated with haematite. One of the remarkable examples of barite-bearing haematite is shown by a micaceous variety from Tôri near Kenziho. Here the ores have a dark reddish purple or greenish-blue colour and are so soft and brittle

as to be crushed easily between fingers. It is, furthermore, noticed that many small veins of soft micaceous haematite traverse the Upper Cretaceous conglomerate exposed at Kokusui-hô. Minute crystals of micaceous haematite occur commonly as an incrustation material in the cavities of limonite ores: both the minerals pass into one another.

The close relationship of haematite and limonite can be investigated at Seitû-san of the Kaisen Mine. So far as was observed by the writer in the adits of No. 2 outcrop, the ore body increases the amount of haematite toward the hanging-wall consisting of mica-clayslate. Haematite is occasionally found together with siderite. The writer has collected there several specimens of rhombohedral crystals of haematite which are pseudomorphs after siderite. In the intermediate stage of alteration, the inner portion of such crystals still remains unchanged. Moreover, there are numerous haematite ores traversed irregularly by siderite stringers. The same types of haematite ores have been collected at the open pit of No. 2 outcrop. The limestone exposed there is traversed by networks of siderite. Such networks are often joined together to form many irregular knots which are partly changed to haematite masses. The haematite of the Kaisen Mine is commonly compact and has massive varieties with a dark reddish-purple colour. Micaceous haematite occurs predominantly at Sinkenri of this mine. Massive haematite contains mostly irregular quartz grains, minute sericite flakes and manganese ores. When haematite is directly derived from siderite, as is shown at the No. 1 outcrop of Seitû-san, the former replaces the latter along its cleavage (Pl. VI, Fig. 1). Such an alteration stage can be seen under the microscope.

Haematite is abundantly found together with limonite at No. 2, No. 3, and No. 4 sections of the Sainei Mine. The haematite and limonite ores of No. 2 section have a tendency to be rich in psilomelane and other manganese oxides. It is very interesting that the haematite collected here is strongly magnetic (Pl. V, Fig. 2). Massive and micaceous haematite ores are widespread at Kyôsan, Sankokusan, and Hamaguriyama of the Sainei district. One of the characteristic

features is the frequent occurrence of soft porous haematite ores at Hamaguriyama where they were formed from the networks in limestone. Besides, haematite associated with limonite is commonly observed at No. 5 and No. 6 sections of the Ginryû Mine. It is also distributed at Natumeyama, Zyôsyadô, Komatuyama, Kasamatu, Hakkatudô and the open pits of the southern area of the Kasei Mine. Some of it is micaceous haematite and compact or porous varieties with a reddish-purple colour. The compact haematite ores from the western open pits of the southern area of the Kasei Mine frequently contain barite crystals. The haematite ores from the eastern open pits are sometimes covered by thin layers of botryoidal limonite. The occurrence of haematite ores is not remarkable in the limonite deposits of the Kokkyô-Tentyû district.

#### **METALLIC OR NON-METALLIC MINERALS ASSOCIATED WITH IRON ORES**

Metallic or non-metallic minerals associated with haematite and limonite ores are pyrite, chalcopyrite, siderite, galena, zincblende, psilomelane, malachite, bornite, quartz, calcite, barite, gypsum, sericite, chlorite, etc.

Pyrite is a common mineral in the limonite deposits of the Kokkyô-Tentyû district. It is always found together with limonite ores, showing mostly an abrupt transition between them (Pl. V, Fig. 4). Some of it is rich in druses with irregular shapes. Such druses are usually incrustated with an aggregate of crystals of the same mineral. The crystal forms are cube and pentagonal dodecahedron as well as their combination, the largest one measuring 2 centimeters in diameter. Many specimens of pyrite has once been obtained at the contact between mica-clayslate and limestone surrounding No. 1 outcrop of Seitû-san of the Kaisen Mine and also from the drill hole opened at Komatuyama of the Kasei Mine, having been closely associated with haematite or limonite ores. Moreover, this mineral is scattered in the haematite ores from the Angaku Mine.

The occurrence of chalcopyrite is quite rare. A small amount of it has been collected at No. 2 section of the Ginryû Mine and also at the contact between mica-clayslate and limestone exposed at No. 1 outcrop of Seitusan of the Kaisen Mine. The mineral from the Ginryû Mine is accompanied by malachite and partly alters into bornite and limonite.

Siderite is frequently seen in the limonite ores contained in the limestone distributed extensively at Kaisen, Inritu, Kenziho, and Ginryû Mines. Some of it is undoubtedly of secondary origin and is crystallized in the druses of limonite ores. It is occasionally an aggregate of small rhombohedral crystals, but is mostly massive, passing gradually into limonite. This mineral is abundantly present close to mica-clayslate in the adits of the Seitû-san deposits of the Kaisen Mine.

Only one locality of galena and zincblende is hitherto known at the Kaisen Mine where a small amount of these minerals has been found in the neighbourhood of limestone and mica-clayslate exposed at No. 1 outcrop of Seitû-san.

The massive or earthy manganese ores are frequently associated with haematite and limonite ores from Sainei, Kaisen, Kenziho, and Kasei Mines. They are chiefly represented by psilomelane which sometimes has a characteristic botryoidal form. The most predominant non-metallic mineral is quartz intermixed with minute sericite flakes, but gypsum is rarely contained in the limonite ores from Gatai of the Kokkyô-Tentyû district. Barite takes mostly a tabular form and has a milky colour. The large crystal is extraordinarily abundant in some limonite ores from the Sainei Mine. The close association of barite and siderite can be observed at Keihori and Maruyama of the Kenziho Mine. Barite is, however, nearly absent at the Kaisen Mine. It is also found in the haematite ores from Tôri and the Angaku Mine. Chlorite is negligible.

## PARAGENETIC SEQUENCE OF ORE AND GANGUE MINERALS

Metallic or non-metallic minerals indicate somewhat different paragenetic sequence in the haematite and limonite deposits under



consideration. One of the characteristic examples can be seen in the specimens from the Angaku Mine. For this purpose, the writer collected varying types of haematite ores from the mining area including Tôsô, Tôyôdô, Goryû-san, etc. Some of these contain pyrite and magnetite, whereas others are quite free of such paragenetic minerals. When both the minerals are scattered in the haematite mass, they are found as minute single crystals or aggregates. It seems that the frequency of magnetite and pyrite gradually increases toward the lower part of the haematite deposits. So far as is shown by the polished sections, magnetite and pyrite are sometimes penetrated by haematite flakes. Such a feature is exceedingly remarkable in pyrite crystal. From these points of view, pyrite and magnetite are likely to have been formed in the earlier stage of metallization, being followed by the crystallization of haematite. It is, however, obscure whether pyrite is preceded by magnetite in crystallization. Besides these, a confused aggregate of quartz grains are frequently found in haematite ores, including some pyrite crystals and minute haematite flakes in it. Haematite is, on the other hand, traversed by quartz veinlets with minute calcite crystals. These relationships indicate that quartz was in a wide range of crystallization. Moreover, barite crystals common to the upper portion of the deposits here were probably crystallized in the later stage compared to other minerals.

A characteristic example of the primary haematite is similarly found at Sinkenri of the Kaisen Mine, where the ores are represented by micaceous haematite in a scaly aggregate. Most of the haematite of this mine is, however, of an oxidation product of the primary siderite. Such types of haematite are usually compact and have a dark reddish colour. In the beginning, oxidation takes place along the rhombohedral cleavage of siderite and then invades gradually the interior until the whole parts of it change into the haematite mass (Pl. XXIII, Fig. 1). The similar feature can be seen in varying alteration stages of the primary siderite to limonite (Pl. VI, Fig. 2). These ores commonly intermixed with a confused aggregate of quartz,

sericite, and chlorite as well as psilomelane or other manganese minerals.

Primary haematite ores are also widespread at Hamaguriyama of the Sainei Mine and in the granite area of the Inritu Mine. They are associated with quartz and sericite. The interstices of haematite crystals are sometimes filled up by quartz mosaics and sericite flakes, but there are several examples where these aggregates are pierced by the flaky or platy haematite.

The haematite ores from Tôri are always micaceous varieties with quartz, sericite, calcite, and barite. Barite and quartz are the important gangues in the ores from this area. Under the microscope, micaceous haematite and quartz occasionally cut barite crystals (Pl. XXIII, Fig. 3), and are sporadically present along their cleavages in many cases, whereas barite sometimes includes micaceous haematite and small calcite crystals. In some specimens, haematite is penetrated by quartz veinlets. Sericite occurs generally together with haematite and quartz forming a confused aggregate. As can be inferred from the above-mentioned relationship, most of the haematite here seems to have been crystallized with barite and calcite in the earlier stage of mineralization, being more or less overlapped with quartz and sericite.

The primary siderite can not easily be observed at present, since it changed mostly into haematite and limonite. The occurrence of barite-bearing siderite is known at Kaisen and Kenziho Mines. It forms irregular veins cutting the Ordovician limestone at the Kenziho Mine. In this case, platy barite crystals are scattered over in the siderite mass intermixed with calcite. This feature is an indication that barite was formed prior to siderite. Siderite veins are similarly to be seen at Maruyama, Itigôyama, and Keihori of the Kenziho Mine. It is very noteworthy that the limonite ores from these areas are not infrequently rich in barite casts.

The limonite ores from No. 1 section of the Sainei Mine are characterized by the abundance of barite crystals and casts. They are undoubtedly an alteration product of barite-bearing siderite.

A fibrous or radial aggregate of goethite is often found together with the limonite and haematite ores from Kaisen, Inritu, Sainei, Kenziho, Kasei, and Ginryû Mines. This mineral covers usually the surface of the ores and is particularly abundant in their drusy parts. It is also complicatedly intermixed with haematite and limonite and forms a spherulitic aggregate here and there (Pl. XXI, Fig. 4). Some of it keeps platy casts of barite crystals on its surface and passes into barite-bearing limonite. It is easily distinguishable from other parts of ores, as it shows microscopically a bright reddish-yellow or reddish-brown colour and a weak pleochroism as well as an intense birefringence. Goethite has some tendency to be associated closely with the ores altered from siderite, but it is uncommon in those derived from pyrite. It is probably a secondary product recrystallized from amorphous ferric hydroxide.

Zinblende, galena, and chalcopyrite have been obtained in the area where limonite and haematite derived from siderite are predominant. The paragenetic sequence between these minerals and siderite is difficult to be confirmed.

## CHEMICAL COMPOSITION OF THE IRON ORES

The chemical characters of the ores depend partly upon the difference of the country rocks. For instance, the ores in the Upper Cretaceous conglomerate, sandstone, and shale as well as their weathering products are generally more siliceous compared with those in limestone and its *terra rossa*. So far as has chemically been investigated, silica is often more than 15% in the former, but is seldom above 15% in the latter.

It is also noteworthy that the porous ores are commonly inferior to the compact varieties. In the former case, even the best limonite ores are 55% or thereabouts in iron, but rich in silica. Most of the limonite and haematite ores are, furthermore, characterized by the low percentage of phosphorus and sulphur, both being less than 0.1%. Manganese is always present and is especially contained in the ores

from the Kaisen Mine where it is sometimes estimated nearly up to 5%.

The results of chemical analyses of limonite ores are to be shown in the following tables.

TABLE I

## Limonite ores from the Kaisen Mine

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Fe	50.82	52.52	43.82	56.96	55.35	52.22	41.07	54.85	49.62	49.73	50.00	50.15
SiO <sub>2</sub>	13.80	12.60	23.80	3.23	7.60	12.30	23.00	5.00	14.60	11.22	12.80	2.54
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P	—	0.098	0.065	0.110	0.030	0.0225	—	0.052	0.045	0.110	0.029	0.030
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.26	—	4.17(Ca)
MgO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	—	1.91	—	0.18	2.93	3.23	—	4.40	3.22	1.35	2.93	2.50
Cu	—	—	—	tr.	—	—	—	—	—	tr.	—	—
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(1) Limonite ore from Kintokusan (金徳山). Analysed at Geol. Surv. Gov. General of Chôsen.

(2)	„	Unkokuten (雲谷站).	„
(3)	„	Kansi-san (乾芝山).	„
(4)	„	Unryûri (雲龍里).	„
(5)	„	No. 1 outcrop of Seitô-san (正通山).	„
(6)	„	No. 2 outcrop „	„
(7)	„	No. 3 outcrop „	„
(8)	„	No. 4 outcrop „	„
(9)	„	Syôkotu-hô (松骨峰).	„
(10)	„	Zenson (全村).	„
(11)	„	Madô (麻洞).	„
(12)	„	the western slope of En-hô (彦峰)	„

TABLE II

## Limonite ores from the Kenziho Mine

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Fe	55.50	55.90	56.10	53.80	54.90	57.40	58.10	58.23	56.40	53.20	54.80
SiO <sub>2</sub>	5.29	3.60	5.18	6.63	5.62	3.23	2.82	3.30	5.28	8.16	6.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.93	0.53	0.40	0.50	0.23	0.45	0.77	0.67	1.38	0.95	1.48
S	tr.	0.125	0.014	tr.	0.003	0.004	0.001	0.05	0.001	0.001	tr.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
P	0.037	0.021	0.036	0.37	0.004	0.013	0.034	0.30	0.047	0.025	0.060
CaO	0.42	0.32	0.32	0.53	0.62	0.25	0.14	0.24	0.56	0.35	0.30
MgO	0.32	0.21	0.23	0.48	0.50	0.32	0.32	0.26	0.34	0.43	0.33
Mn	1.78	2.59	1.41	2.59	1.23	1.57	1.61	1.24	0.68	1.82	1.60
Cu	0.009	0.004	0.012	0.064	0.011	0.006	0.011	0.003	0.003	0.003	0.003
Ti	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.

(1) Porous limonite ore from Itigôyama (一號山). Analysed at the Kenziho Iron & Steel Works.

(2) Limonite ore with the barite casts from Sakamotoyama (坂本山).

(3) Botryoidal limonite from Keihorî (系浦里).

(4) Porous limonite ore from „

(5) „ from Maruyama (丸山).

(6) Compact limonite ore from Koken (古縣).

(7) Limonite ore from Hebikô (蛇坑).

(8) Compact limonite ore from Dôzan (銅山).

(9) Porous limonite ore from Unzanri (雲山里).

(10) „ from Seisekiri (青石里).

(11) „ from Syôzandô (商山洞).

The chemical composition of a type specimen of limonite ores from Maruyama is as follows.:

SiO <sub>2</sub>	4.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76.63
CaO	1.30
MgO	0.72
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0.35
MnO	1.40
H <sub>2</sub> O+	10.98
H <sub>2</sub> O—	1.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.054
CO <sub>2</sub>	1.38
S	0.04
Cu	0.003

Total 100.237

Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

TABLE III

Limonite ores from the Kokkyô-Tentyû district

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Fe	56.43	58.30	54.50	55.30	58.00
SiO <sub>2</sub>	4.38	3.41	7.47	4.86	3.40

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70	0.75	2.05	2.05	0.75
S	0.083	0.023	0.044	0.015	0.016
P	0.060	0.036	0.097	0.069	0.055
CaO	0.26	—	—	—	—
MgO	0.40	—	—	—	—
Mn	0.132	0.036	0.029	0.014	0.022
Cu	0.022	0.014	0.012	0.016	0.011

(1) Limonite ore from Gatai (瓦代), Tentyû-men. Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

(2) „ Hangetudô (半月洞), „ „

(3) „ Naitodô (内斗洞), „ „

(4) „ Kisekison (龜石村), „ „

(5) „ Teisiri (亭子里), Kokkyô-men. „

The limonite ores in the preceeding table are alteration products derived from pyrite masses. In oxidation, there are some tendencies that iron, silica, manganese, phosphorus, magnesia, and lime are increased, while sulphur is extraordinarily decreased.

The pyrite masses from this district were also chemically investigated at the Kenziho Iron and Steel Works. The results are as follows :

	Fe	SiO <sub>2</sub>	S	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Mn	Ca
(1)	54.30	0.40	26.098	0.007	0.29	0.10	0.15	0.050	0.011
(2)	53.60	0.52	26.865	0.006	0.21	0.10	0.12	0.072	0.032

(1) Pyrite mass from Tenkyôdô, Tentyû-men.

(2) „ Gatai, „

TABLE IV

Limonite ores from the Inritu Mine

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Fe	57.47	53.27	53.02	55.33	58.90	55.82	53.40
P	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.16	tr.
S	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
SiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	5.47	—

(1) Limonite ore from the central part of ore body of Tyôren (長連).

(2) „ the southern part of the ore body of Tyôren.

(3) „ Yôsendô (楊川洞).

(4) Botryoidal limonite ore from Nigôkô (二號坑).

- (5) Limonite ore from Sangôkô (三號坑).  
 (6) „ Nôson (農村) No. 2 outcrop.  
 (7) „ the western part of the ore body of Tyôren.  
 Analysed at Geol. Surv. Gov. Gen. Chôsen.<sup>(1)</sup>

According to INOUE<sup>(2)</sup> and TAMURA,<sup>(3)</sup> the limonite ores from the Inritu Mine are generally low in phosphorus and sulphur. In most of these ores, silica is present in a small amount. Manganese is sometimes found conspicuously. Some specimens contain more than 4 per cent.

TABLE V

Limonite ores from the Sainei Mine and its vicinity

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Fe	35.62	51.47	43.25	50.67	52.24	39.34	50.96
SiO <sub>2</sub>	31.96	10.59	23.34	7.70	11.70	34.26	8.40
S	0.02	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
P	0.07	0.04	tr.	0.01	0.06	tr.	tr.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.17	3.66	3.43	0.17	0.68	0.78	0.78
CaO	0.37	tr.	0.25	tr.	0.08	0.26	0.26
MgO	1.66	0.19	0.29	0.54	0.06	0.86	0.86
Mn	3.05	0.35	0.47	1.85	0.10	0.68	0.68
Cu	—	—	—	—	—	—	—
Ti	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
Ba	—	—	—	—	—	—	—
	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Fe	55.70	49.46	54.90	44.09	42.06	40.19	41.04
SiO <sub>2</sub>	8.45	13.85	24.40	22.69	27.02	32.70	20.04
S	0.018	tr.	1.10	tr.	0.11	0.04	tr.
P	0.056	tr.	0.03	tr.	0.01	0.01	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.30	1.76	0.92	1.32	2.36	0.95	0.81
CaO	0.34	0.04	0.62	0.07	0.24	0.13	0.14
MgO	0.23	0.13	0.52	0.57	0.31	0.16	0.38
Mn	0.93	0.68	0.41	0.77	0.51	0.16	3.78
Cu	0.005	—	—	—	—	—	—
Ti	—	tr.	tr.	tr.	tr.	—	—
BaO	0.013	—	—	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O+	8.86	—	—	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O—	0.16	—	—	—	—	—	—

- (1) Bull. Min. Surv., Chôsen, Vol. 5, Iron-ore Deposits in Kôkai-dô, 1932, pp. 37-49.  
 (2) The Iron Ore Resources of the World, 1910. Vol. II, XI International Geological Congress, Stockholm p. 977.  
 (3) Mineral Resources of Chôsen, Vol. III, Kôkai-dô, No. 1, 1913, p. 61.

- |      |   |   |
|------|---|---|
| (1)  | Porphyritic limonite ore from No. 1 section of the Sainei Mine. | Analysed at Geol. Surv. Gov. Gen. Chōsen.     |
| (2)  | Porous limonite ore   | "   |
| (3)  | Banded limonite ore from No. 3 section of the Sainei Mine.      | "   |
| (4)  | Porous limonite ore   | "   |
| (5)  | Porous limonite ore from No. 4 section.                         | "   |
| (6)  | Banded limonite ore from No. 5 section.                         | "   |
| (7)  | Botryoidal limonite ore from                                    | "   |
| (8)  | Limonite ore from No. 1 section.                                | Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works. |
| (9)  | Porous limonite ore from Kyōsan.                                | "   |
| (10) | "   | "   |
| (11) | " from Taikinsan.   | "   |
| (12) | Porphyritic limonite ore  | Analysed at Geol. Surv. Gov. Gen. Chōsen.     |
| (13) | Porous limonite ore from Tyūmadō.                               | "   |
| (14) | " from Sinkanri.  | "   |

There are porphyritic varieties and banded types of limonite ores at the Sainei Mine, Kyōsan, Sankokusan, Taikinsan, etc. These ores are especially associated with shale, sandstone, and conglomerate. In this case, white bands and spots are composed of minute grains of quartz. Therefore, such types of ores are generally rich in silica. The limonite ore from the Sainei Mine is commonly not of excellent quality.

TABLE VI

Limonite ores from the Ginryū Mine

	(1)	(2)	(3)	(4)
Fe	50.81	53.61	49.40	52.70
SiO <sub>2</sub>	10.36	5.90	9.41	6.34
S	0.012	0.051	0.059	0.048
P	0.046	0.037	0.054	0.062
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.16	0.72	2.27	2.04
CaO	0.15	0.07	0.23	0.31
MgO	0.45	0.32	0.59	0.46
Mn	2.120	2.007	2.508	2.39
Cu	0.085	0.018	0.102	0.050
H <sub>2</sub> O+	9.63	10.53	10.30	10.47
H <sub>2</sub> O-	1.52	1.09	1.29	1.16

(1), (2), (3), and (4) are porous limonite ores from Naitodō.

Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.



As will be understood from the preceeding table, the limonite ores from the Ginryû Mine are not rich in Fe, but are generally low in phosphorus and sulphur. Manganese is mostly below 2.5%.

TABLE VII  
Limonite ores from the Kasei Mine

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Fe	56.70	54.80	55.20	55.60	56.00
SiO <sub>2</sub>	3.09	6.53	6.37	7.90	7.90
S	0.012	0.00	0.029	tr.	tr.
P	0.034	0.040	0.004	tr.	tr.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.74	2.48	1.94	—	—
CaO	0.75	0.50	0.80	—	—
MgO	0.33	0.26	0.51	—	—
Mn	1.19	0.79	0.60	—	—
Cu	tr.	tr.	tr.	—	—

(1), (2), (4), and (5) are the limonite ores from the southern area of the Kasei Mine.

(3) is the average composition of the limonite ores from the northern area of the Kasei Mine. Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

Most of limonite ores of the Kasei Mine are better than those of the Ginryû Mine. The percentage of sulphur and phosphorus are likewise very low. Manganese is commonly 1% or thereabouts.

Besides limonite ores, the iron ores from above-mentioned localities are represented by haematite. The results of micaceous and massive haematite ores are indicated in the following table :

TABLE VIII

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Fe	68.38	62.66	53.98	53.50	67.50	47.99	46.47
SiO <sub>2</sub>	1.30	1.00	6.85	10.22	1.71	20.48	25.30
S	tr.	—	tr.	tr.	0.041	1.94	2.42
P	0.010	0.030	tr.	0.028	0.033	tr.	tr.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.66	1.15	0.30	9.17	2.48
CaO	tr.	tr.	6.16	0.65	0.15	1.88	1.35
MgO	—	—	3.20	0.19	0.42	0.62	0.16
Mn	0.20	3.13	0.29	0.87	0.65	0.16	0.20
Cu	—	—	—	0.009	0.017	—	—
Ti	—	—	—	tr.	—	tr.	tr.

	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Fe	55.97	44.52	61.91	64.45	68.92	67.23	53.72
SiO <sub>2</sub>	12.93	23.56	3.94	4.55	—	2.67	—
S	1.25	2.24	0.01	tr.	tr.	—	0.04
P	tr.	tr.	tr.	tr.	—	0.06	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.86	3.53	0.47	0.26	—	—	—
CaO	0.76	1.53	0.27	0.17	—	—	—
MgO	tr.	0.03	0.13	0.10	—	—	—
Mn	0.20	0.25	0.15	0.25	—	—	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—
Ti	tr.	tr.	tr.	tr.	—	—	—

(1) Massive haematite ore from Sinkenri of the Kaisen Mine.

(2) „ „ Madô „

(3) Soft haematite ore from Tôri near Kenziho.

Analysed at Geol. Surv. Gov. Gen. Chôsen.

(4) Micaceous haematite ore from Itigôyama of the Kenziho Mine.

(5) Massive haematite ore from Tenkyôdô, Tentyû-men.

Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

(6) Massive haematite ore from Itigôyama of the Angaku Mine.

(7) „ „ Nigôyama „

(8) „ „ Sangôyama „

(9) „ „ Sigôyama „

(10) Micaceous haematite ore from No. 2 section of the Sainel Mine.

(11) „ „ Hamaguriyama.

(12) Massive haematite from Nôson No. 1 of the Inritu Mine.

Analysed at Geol. Surv. Gov. Gen. Chôsen.

(13) „ „ from the southern area of the Kasei Mine.

(14) „ „ Western part of the southern area „

Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

The preceeding table indicates that the haematite ores from the Angaku Mine are always characterized by the predominance of sulphur due to the presence of pyrite. Phosphorus is almost negligible in most specimens, and manganese is usually less than one per cent.

The cavities of limonite ores are often coated by different types of iron ores with such varying forms as botryoidal, mammillary, stalactic, etc. Some of these are represented by limonite, but others are assigned to göthite. The latter mineral is very frequently found at the Kaisen Mine. Sometimes, it has a splintery fracture with a colour somewhat resembling haematite. Commonly, it contains iron

higher than 60 percent. Some examples of the chemical composition are shown in the following table :

	(1)	(2)
Fe	60.35	60.09
SiO <sub>2</sub>	1.66	2.42
S	—	—
P	0.070	0.060
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—
CaO	0.36	0.43
MgO	—	—
Mn	0.63	2.80
Cu	—	none
Ti	none	—

(1) The specimen from Unkokuten of the Kaisen Mine.

(2) „ Go-hô of the Kaisen Mine.

Analysed at Geol. Surv. Gov. Gen, Chôsen.

## LIMESTONES CONTAINING ORE BODIES AND THEIR CHEMICAL COMPOSITION

Different kinds of limestone are found in the iron-bearing areas under consideration. They have varying shades of colour which are mostly gray, grayish-white, dark gray, white, and yellowish-gray. These limestones are usually massive or banded, both being alternately bedded. There are also porous limestones and mottled varieties. Besides, the occurrence of metamorphosed limestone is known at the contact aureole of granitic rocks.

Among these, most predominant are gray or dark gray varieties which are occasionally rich in magnesia and approach to dolomite in chemical composition. Such dolomitic limestones often have a close relationship to the occurrence of ore bodies, as is shown in the Kokkyô-Tentyû district or elsewhere. In the Kokkyô-Tentyû district, ore bodies are chiefly distributed in the area occupied by a massive limestone with a gray or a dark gray colour. This limestone stratigraphically is of lower horizon compared with those containing *Actinoceras*, *Orthoceras*, *Maculurea*, etc. The ore bodies of the Kaisen

Mine are closely associated with the alternate beds of massive and banded limestones with a grayish-white or dark gray colour respectively. The massive limestone here is also dolomitic. The iron-bearing area of the Kenziho Mine is chiefly occupied by a dark gray limestone intercalating gray limestone, yellowish-grey limestone, mottled limestone, etc. They are mostly massive and are often traversed by numerous calcite veinlets. The limonite and haematite ores of this mine are scattered in dolomitic and mottled limestones as well as in their *terra rossa*. The mottled limestone has a dark gray colour, being characterized by the abundance of irregular spots elongated parallel to the bedding plane. When it is subjected to weathering, these spots are preserved projecting out on the surface. Such limestone contains many fossils. Massive and banded types of limestone are very common in the mining area of Ginryû and Kasei Mines. In this case, the massive limestone is considered to be dolomitic, but it is sometimes siliceous. The dolomitic limestone is frequently intercalated by a porous variety caused by the dissolution of calcite masses in weathering. Some of the banded limestone passes gradually into the so-called Cryptozoon-bearing variety. This can be seen at the Ginryû Mine. The banded limestone exposed at the Kasei Mine is often mottled by the presence of many calcite lenses with a milky white colour. Massive and banded limestones with a grayish-white or dark gray colour are similarly exposed at the Inritu Mine. Of these, the banded variety extends southeastward from the neighbourhood of Yôsendô along the coast. It is intensely metamorphosed by granite and contains several contact minerals. In the fresh specimen, the rock is mottled and shows a dark gray colour, but gets gradually a purplish shade or yellowish-green colour in weathering. The banded limestone is sometimes marmorized along the contact with the granite exposed at Sinrisei (新梨井). Under the microscope, these limestones are generally a mosaic aggregate of calcite crystals associated with a small amount of pyrite and limonite. Dark gray crystalline limestone is commonly composed of calcite crystal, 0.01 millimeter in diameter. Dolomitic limestone contains abundant rhombohedral crystals

of dolomite, 0.05 to 0.1 mm. in diameter. Dolomite crystals occur mainly as an aggregate. Siliceous limestone is rich in minute quartz grains. As is shown by numerous specimens, limestone is often replaced by siderite masses. It is microscopically a confused aggregate of siderite and calcite. Both minerals can be distinguished from one another in the thin section, since they are quite different in indices of refraction.

The interesting limestone is the metamorphosed variety seen commonly at the Inritu Mine. It consists of calcite, diopside, phlogopite, garnet, scapolite, zoisite, magnetite, quartz, zircon, etc. The most predominant mineral is diopside which is always found in association with calcite. It occurs in a very irregular form and is characterized by the presence of the cleavage parallel to (110). The extinction angle,  $Z \wedge c$ , is  $40^\circ$  or thereabouts. Its size varies proportional to that of calcite crystals. So far as is observed at Nigôyama or elsewhere, most of metamorphosed limestones are represented by an alternation of two different portions with abundant calcite and a subordinate amount of diopside and quartz or *visa versa*. Sometimes phlogopite is extraordinarily abundant in the impure part of such a metamorphosed limestone, and there is a sudden transition between phlogopite- or diopside-rich zones of this type of rock.

Phlogopite is usually found as an aggregate of minute flakes with an anhedral form and a distinct cleavage parallel to (001). It shows a straight extinction and is faintly pleochroic, viz.,  $X$ =colourless,  $Y=Z$ =light brownish-yellow. The birefringence is high and the optical character is negative. The phlogopite often contains zircon around which a pleochroic halo is to be seen. Pyrrhotite is mostly concentrated in phlogopite-rich portion. It replaces calcite and was formed later than diopside and phlogopite. In the intensely altered portion composed of phlogopite, quartz, and scapolite, there are some minute crystals of rutile and also rounded garnet. Scapolite is usually present in phlogopite- or diopside-rich portion. It has indices of refraction slightly higher than quartz, but nearly close to phlogopite. Zoisite is common in the banded limestone from Kinzanpo. This mineral

is associated with diopside, occurring in a granular form. It has a characteristic interference colour. Quartz is always present in the metamorphosed limestone, and calcite is frequently traversed by it.

Among varying types of limestone, the specimens from Tenkyôdô and Kenziho have chemically been investigated. As will be understood from the following table, the limestones from Tenkyôdô are high in magnesia, but low in silica compared with any of the dolomitic limestone from Kenziho. Iron is always less than 1%.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
SiO <sub>2</sub>	0.10	0.22	8.44	4.22	4.94	3.38	3.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40	0.24	1.32	0.84	0.90	0.90	0.36
CaO	30.70	30.90	39.50	30.20	32.90	37.50	47.40
MgO	21.08	21.96	10.19	12.71	16.24	12.98	11.90
S	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	—
Fe	0.60	0.40	0.38	0.36	0.99	0.75	0.06
Ba	—	—	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.

(1) Tenkyôdô, Tentyû-men. Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

(2) " " "

(3) Keihori (Sakamotoyama), Kenziho. "

(4) " " "

(5) Maruyama, Kenziho. "

(6) " " "

(7) Seisekiri, Kenziho. "

As is shown by the specimens collected from the Kenziho Mine, some limestone is exceedingly low in magnesia as follows:

	(1)	(2)	(3)
SiO <sub>2</sub>	2.40	2.10	3.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.74	0.72	0.52
CaO	52.40	53.60	51.60
MgO	1.72	1.10	1.40
S	0.07	0.04	0.01
Fe	0.27	0.38	0.70
Ba	tr.	tr.	tr.

(1) Maruyama, Kenziho.‡ Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

(2) Hebiokô, " "

(3) Dôzan, " "

The limestones close to ore bodies are occasionally characterized by yellowish-brown, light brown, and dark brown colours, indicating a transition to dark gray or gray limestones. Such brownish portions are commonly rich in iron and silica.

	(1)	(2)
SiO <sub>2</sub>	13.23	6.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.65
CaO	38.05	40.35
MgO	0.75	0.63
Fe	9.80	6.43
Mn	0.40	0.77
S	1.74	0.77
P	0.01	0.01
Cu	0.01	0.02
Ti	tr.	tr.

(1) Maruyama, Kenziho.      Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works.

(2) Keihori,      „      „

The microscopical investigation shows that they are a mixture of siderite and calcite. Similar types of the mixture also occur in an irregular vein form, traversing the dark gray mottled limestone exposed widely at the Kenziho Mine. They are, however, usually of a small scale and appear indistinctly against the mother-rock. A specimen from Maruyama has chemically been analysed and has shown the following result.

SiO <sub>2</sub>	13.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.29
FeO	—
CaO	33.70
MgO	7.59
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0.43
CO <sub>2</sub>	34.68
H <sub>2</sub> O +	1.25
H <sub>2</sub> O —	0.29
MnO	0.25
S	0.03
Cu	0.02
<b>Total</b>	<b>100.46</b>

Analysed at the Kenziho Iron and Steel Works

The brownish part of limestone may be a product due to the replacement of the iron-bearing solution. It often passes into limonite ores with a porous structure.

## THE FORMATION OF RESIDUAL CLAYS

The most common feature in the iron-bearing area is the predominance of a residual clay. It is derived from limestone as well as shale, sandstone, and conglomerate as a result of weathering. The area occupied by this type of clay is represented by monotonous and barren lands with a gentle undulation.

The formation of residual clay is particularly remarkable in the limestone region and the transition can distinctly be observed between it and the limestone exposed beneath it. Such an alteration is continuously carried out on the surface and its vicinity. It depends mainly on the original structure and lithic character of limestone. The surface water directly attacks the limestone exposure and then invades into bedding planes as well as joint cracks, yielding gradually *terra rossa* along its passage. So far as is investigated at the open pits of Kaisen, Kenziho, Ginryû, Kasei, and Inritu Mines, some dark gray limestone is extraordinarily weak in weathering and the surface easily changes colour to gray or grayish-white. As can be seen at Maruyama of the Kenziho Mine or elsewhere, the mottled limestone is sporadically attacked by the surface water. This is well indicated by the variety, mottled intricately with gray and dark gray colours.

The gray portion of this rock passes into a soft material with a grayish-white colour, leaving behind many shallow pits. The limestone is sometimes traversed by calcite veinlets. In the beginning of weathering, these veinlets commonly project out on the surface of the altered limestone as thin plates. This feature is often to be seen at the Kenziho, Ginryû, and Kasei Mines. Some dark gray dolomitic limestone has a tendency to be broken into angular pieces in its weathering and finally becomes a porous structure resembling worm-eaten woods. The so-called Cryptozoon-limestone, furthermore, shows a characteristic



stage of weathering. It is generally observed at the Ginryû Mine where its surface is concentrically depressed along the easily soluble part. Similarly, the banded limestone is alternately subjected to a somewhat different effect of weathering. The dolomitic limestone is sometimes easily decomposed, the surface being thinly coated by loose sandy materials, but the siliceous variety is quite resistant to this process.

In the next stage, most limestones change abruptly into a residual clay or *terra rossa*. There are, however, many instances where the original structure of limestone beds is, as is shown at the old open pits of Saisakiri and Hebiokô of the Kenziho Mine or elsewhere, still preserved even after changing into the residual clay. Besides, the limestone is often decomposed to a soft earthy material with a grayish-white or brown colour at the open pits where it is scattered in the residual clay as rootless masses (Fig. 24), and then it passes gradually into a reddish-brown clay along the peripheral parts. If the limestone is intermixed with siderite, the formation of yellowish brown bands in the residual clay occasionally results.

The invasion of the surface water also takes place along joint cracks or bedding planes, forming cavities here and there. Such cavities have generally a somewhat rounded outline and an uneven surface. Some of these are suddenly enlarged downward and are partly filled up by clayey materials. During this alteration, inclined limestone beds obtain a crenated surface, and numerous pinnacles are built beneath the residual clay (Fig. 25). Hence, they afford a characteristic feature after the removal of the surface clay. When the limestone beds are further attacked, they are broken into rootless masses (Fig. 24) which are finally decomposed to the reddish brown clay. The residual clay formed in this way is sometimes 7 to 20 meters in thickness, but it is often estimated to be about 70 meters in depth at the Kasei Mine where the limestone bed is deeply invaded along the open space.

The writer has collected abundant specimens from Maruyama or other localities to study the variation of the chemical composition

between the fresh limestone and its residual clay. They were chemically analysed at the Kenziho Iron and Steel Works with the following average results.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O
(A) Unweathered limestone	3.76	1.16	0.71	0.10	48.40	3.92	0.28
(B) Weathered limestone	13.57	2.39	1.29	0.15	44.00	1.82	0.27
(C) Residual clay	55.45	22.02	10.58	0	1.05	1.45	0.22

	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	S	P	Cu	Mn
(A) Unweathered limestone	42.40	0.07	0.09	0.014	—	—
(B) Weathered limestone	35.41	0.07	0.01	0.009	—	—
(C) Residual clay	0.22	2.97	0.01	0.32	0.034	0.03

As will be understood from the preceeding table, the remarkable change of composition in weathering is the increase of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as well as the decrease of CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>. The residual clay greatly increases the percentage of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, which are scarce in the fresh limestone, but the amount of CaO and CO<sub>2</sub> are very greatly decreased. Therefore, the hardly soluble elements remain *in situ* and are accumulated as residues,

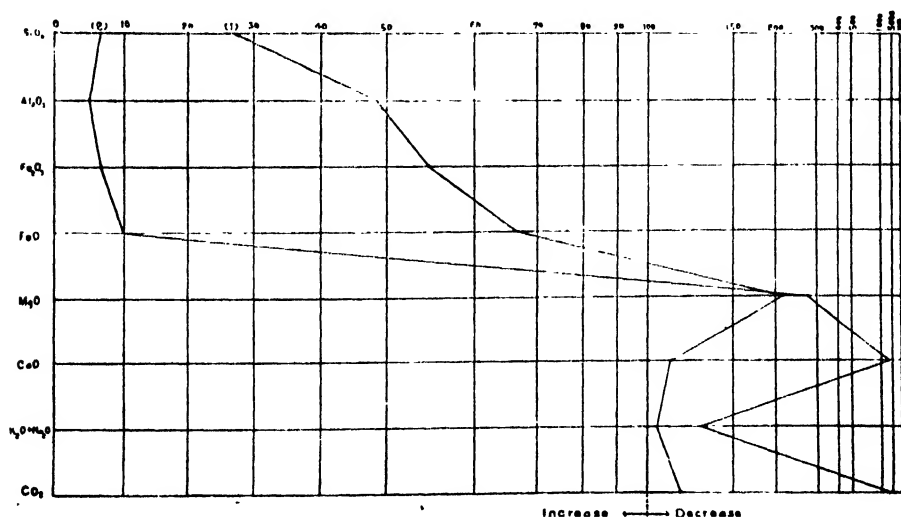


Fig. 26. Straight line diagram showing the losses and gains of constituents in weathering.

$$(1) = \frac{(A)}{(B)} \times 100 \quad (2) = \frac{(A)}{(C)} \times 100$$

whereas the soluble portions of the rock are transported by the surface water. The enrichment of ferric oxide thus gives a reddish brown colour to the residual clay. The losses and gains of constituents in weathering may more distinctly be indicated by the straight line diagram (Fig. 26).

The similar stage of alteration is also known between limestone and its residual clay exposed beneath the brown ores in the Hauston Mine of Alabama. It is, therefore, very interesting to compare the following results of chemical analyses with those of the preceeding table.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO
Unweathered limestone	12.31	1.34	0.77	—	0.11	44.34
Weathered limestone	27.75	6.57	1.62	0.27	0.39	29.69
Residual clay	55.92	25.24	5.10	0.30	1.21	0.10
	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
Unweathered limestone	2.54	0.24	0.76	35.20	1.87	
Weathered limestone	3.02	0.23	3.53	22.84	4.19	
Residual clay	1.61	0.43	2.48	—	9.00	

(Analyst, R. S. Hodges, Alabama Geol. Surv.)<sup>(1)</sup>

Mineralogically speaking, the residual clay derived from limestone is rich in minute quartz grains. The presence of zircon and tourmaline is confirmed by the mechanical analyses of this type of clay, but such heavy minerals are always found in a negligible amount compared with limonite particles.

Not only in limestones, but also in shale, sandstone, and conglomerate of the Upper Cretaceous Formation, varying stages of alteration are to be seen at Sainei and Angaku Mines. The fresh shale has commonly a dark gray or black colour, but the slightly weathered specimen obtains a bluish-gray colour in the beginning. In the later stage, it is yellowish-brown or brown and passes finally into a residual clay, showing a gradual or abrupt transition between them. The calcareous shale is more easily susceptible to weathering action. Sandstone and conglomerate, when they are slightly

(1) E. C. ECKEL: Iron Ores, 1914, p. 96.

weathered, have a dark gray or gray colour. These rocks get subsequently a yellowish-brown or grayish-brown colour. Such specimens contain abundant limonite under the microscope. The varying kinds of pebbles contained in conglomerate are different in the rate of weathering. For instance, the pebbles of limestone or calcareous rocks are readily decomposed to a yellowish-brown clay. In the matrix, feldspar is susceptible to weathering compared with other minerals.

The structure of the original rocks is not infrequently preserved in the residual clay derived from shale, sandstone, and conglomerate as in the case of limestone. It is commonly seen at the Sainei Mine and its vicinity.

### THE RELATIONSHIP BETWEEN FAULTS AND SOME LIMONITE-HAEMATITE DEPOSITS IN THE SAINEI-ANGAKU DISTRICT

One of the noticeable features in the Sainei-Angaku district is the distribution of limonite and haematite deposits along a large fault line. Among these, the haematite deposits of the Angaku Mine are situated at the northern end, and such iron-bearing areas as Taikinsan, Sankokusan, Kyôsan, Sangodô, Hamaguriyama, Sainei, Ekiken, Miryokugai, Katusandô, Sansendô, etc. are successively traceable southward.

The remarkable fault line<sup>(1)</sup> begins at the west of Tyôgeturi (長月里) of Ankoku-men (安谷面) and trends from NNW to SSE, passing Kakusanri (鶴山里), Kinteiri (金亭里), Sekigûri (石隅里), Kinkôri (金岡里), Yuzyôri (楡城里), Kuturyûri (屈隆里), Syôsanri (松山里), Dôdenri (堂田里), Sekihôsan (石峯山), Kyôsan (筐山), Kokusui-hô (國水峯), Kagan (花岩), and Kannairi (垣内里). It is about 37 kilometers in length. The eastern side of the fault line is sunken down and the Upper Cretaceous Formation is widely exposed there. It is bordered by granite-gneiss in the northern half, but by biotite-granite or muscovite-granite in the southern half where they intruded through

(1) This fault is called "Sainei fault" by KINOSAKI.

granite-gneiss. This remarkable fault is, furthermore, displaced by many small ones running nearly from east to west. According to KINOSAKI's investigation,<sup>(1)</sup> the haematite deposits of the Angaku Mine seems to have been formed along the fissure of the enormous fault, having replaced the Upper Cretaceous conglomerate beds. He also believes that almost all the iron-ore deposits of the Sainei-Angaku region are genetically in a close relationship to the so-called Sainei fault.<sup>(2)</sup> Such an explanation is similarly proposed by SHIMAMURA<sup>(3)</sup> on the origin of the limonite-haematite deposits of the Sainei Mine and vicinity. It is, however, noteworthy that there are several evidences of striking dislocation having taken place after the formation of iron-ore deposits in this region. One of these can be observed at the old open pits of Tōyōdō (東陽洞) and near Tōsō (東倉) of the Angaku Mine, where the above-mentioned fault is traceable between conglomerate and granite-gneiss. The fault surface is well exposed at these places, and a characteristic slicken side is preserved on the thin layer of haematite ores incrusting the surface of granite-gneiss. The haematite-bearing beds here are always found in sharp contact with granite-gneiss which is entirely free of mineralization. The absence of ores in granite-gneiss is attributed by KINOSAKI<sup>(4)</sup> to the compactness of this kind of rock, whereas he states that loose conglomerate beds were intensely disturbed by faulting and gave, therefore, favourable passages to the ascending solution.

So far as can be observed at these places, the present contact between the Upper Cretaceous conglomerate and granite-gneiss corresponds undoubtedly to the fault surface formed later than the haematite deposits. There is, however, no exact evidence that the displacement also happened prior to mineralization.

Similar instances are to be seen at Sankokusan, Kyōsan, and

(1) Y. KINOSAKI: The Angaku Iron Mine (Japanese), Jour. Geol. Soc. Tōkyō, Vol. 33, 1926, pp. 232-233, 239.

(2) Y. KINOSAKI: On the Origin of Varying Types of Iron Ore Deposits in Kōkai-dō (Japanese), Jour. Geol. Soc. Tōkyō, Vol. 40, 1933, pp. 304-305.

(3) S. SHIMAMURA: Geol. Atlas, Chōsen, No. 8, 1929, pp. 5-8.

(4) Y. KINOSAKI: Op. cit., Jour. Geol. Soc. Tōkyō, Vol. 33, p. 232.

the Sainei Mine where ore bodies are frequently faulted at many places. Some ore bodies exposed at the old open pits of Kyôsan are set up on the surface of granite, suggesting that they moved downward along the so-called Sainei fault. Moreover, an interesting feature is the absence of ore bodies both in granite-gneiss and granite close to fault.

It is highly probable that the mineralizing solution ascended through the cracks of the Cretaceous sediments at the time of granitic intrusion and formed many ore bodies in them. The enormous dislocation under consideration probably took place as a result of the internal adjustment due to the consolidation of magma. The distribution of ore deposits may, therefore, suggest a certain part of mineralized zones which were built at some distance from plutonic masses, without any direct relationship to faulting.

Not only at the Sainei-Angaku district, but at Kaisen, Ginryû, Kasei, and Inritu Mines, ore bodies are frequently displaced by minor faults, although the geological age of these dislocations is incomparable with those of the so-called Sainei fault.

## THE RELATIONSHIP BETWEEN ORE DEPOSITS AND IGNEOUS ROCKS

There are numerous igneous rocks in the iron-bearing districts except the area including Tentyû-men and Kokkyô-men. In the iron-bearing area of the Kaisen district, diorite porphyrite, quartz-porphry, felsite, lamprophyre, basalt, etc. are very frequently found as dykes and sills. In addition, large granitic masses are exposed at Zinkôri (仁興里) southeast of Hokuin (北院) as well as in the hilly area extending from Kaisen (价川) to the foot of Gohô-zan (五峰山). The intrusion of these igneous bodies is likely to have some close relationship to one another. For instance, quartz-porphry is often associated with lamprophyre or felsite, whereas lamprophyre sometimes occurs as a composite dyke together with diorite porphyrite. It is also noteworthy that the ore body of No. 4 outcrop is traversed by a quartz-porphry

dyke. Some ore bodies are found in the vicinity of the exposures of igneous rocks. Such evidences probably suggest a genetical connection between the intrusion of igneous rocks and the formation of iron-ore deposits of this region.

The best example is to be seen at the Inritu Mine where a large granitic mass is exposed in connection with ore deposits. The limestone of this mine partly passes into a diopside-rock along the contact. The ore bodies of Nigôkô and Sangôkô are sporadically arranged along the exposure of such a metamorphosed limestone penetrated by minor dykes of muscovite-granite, two mica-granite, and porphyritic biotite-granite. Limestone and gneiss are intruded by a huge mass of porphyritic biotite-granite at the east of Nôson and Sinrisei (新梨井). The interesting features are indicated by the occurrence of an ore body at the contact between limestone and granite exposed close to a small village called Nôson and also by the abundance of haematite veins in granite. As will be inferred from the frequency of ore deposits in association with granite, it is evident that they were formed in the final stage of its intrusion. Some of these are, therefore, the so-called contact metamorphic deposits.

There is similarly a granitic area at the east of the Sainei fault which extends from NNW to SSE in the iron-bearing district including Taikinsan, Kyôsan, Sankokusan, Sainei Mine, Ekiken, and Katusandô. The intrusion of the granite probably took place prior to faulting in this district, and it has a close relationship to the origin of iron-ore deposits under consideration. SHIMAMURA<sup>(1)</sup> points out the presence of a small granite dyke at No. 5 section of the Sainei Mine, and ITÔ<sup>(2)</sup> believes that iron-ore deposits of the Sainei district are genetically connected with the intrusion of granite. Moreover, there are diorite and quartz-porphyry intruded gneiss and the Cretaceous sediments in the area near the Angaku Mine. These facts may also indicate that some large masses of granite or other plutonic rocks lie concealed here in

(1) S. SHIMAMURA: Geol. Atlas of Chôsen, No. 8, 1929, p. 3.

(2) B. ITÔ: On the Sainei Iron-ore Deposits (Japanese), Jour. Min. Assoc. Chôsen, Vol. 8 1925, p. 339.

depth, as is shown in the Sainei district. The deposits of the Angaku Mine seem to have been formed as a result of mineralization taken place at the final stage of such igneous activities. Besides, several kinds of igneous rocks are found in the area occupied by the Cretaceous or Jurassic sediments which are extensively exposed in Kôsyû-gun (黄州郡) and Ryûkô-gun (龍岡郡). Among these, the Kenziho district is characterized by the frequent occurrence of quartz-porphyry, orthopyre, felsite, porphyrite, etc. Porphyrite is the most predominant of them, forming lava flows as well as small dykes, and is always associated with the Cretaceous sediments. The primary ore bodies are contained in the Cambro-Ordovician limestone and the Upper Cretaceous conglomerate. The extensive intrusion or extrusion of those igneous rocks is probably connected with the formation of iron-ore deposits. The igneous activity in the surrounding region of the Kenziho Mine may also give an important suggestion to the origin of pyrite deposits in the Kokkyô-Tentyû district.

Diorite porphyrite, quartz-porphyry, lamprophyre, felsite, etc. are frequently to be seen at the Kasei Mine where they were injected into limestone and clayslate of the Syôgen System. The deposits of this mine are occasionally distributed in the vicinity of the igneous masses exposed at Natumeyama, Hakkatudô, and on the hill south of Bunseidô. Similarly, there are some ore bodies close to the large dyke traversing limestone and clayslate of the Syôgen System on the hill behind Rôsonidô (浪村洞) and Tyûyudô (中鎗洞) north of Ginryû Mine.

### THE TEMPERATURE FOR FORMATION OF THE PRIMARY DEPOSITS

As has been explained elsewhere, haemetite and limonite ores are associated with varying kinds of metallic or non-metallic minerals which are sometimes represented by magnetite, pyrite, siderite, barite, limesilicates, etc. Among these, siderite and barite are commonly to be seen at several mines, whereas the occurrence of magnetite is



known only at the Angaku Mine. Such haematite and limonite ores are frequently rich in micaceous haematite or specularite, and some of the ores are almost completely composed of this mineral.

As to the presence of magnetite in the haematite ores from the Angaku Mine, KINOSAKI<sup>(1)</sup> supposes that the earliest mineralization took place at 500°C or thereabouts. The crystallization of magnetite was then followed by that of haematite which seems to have been carried out at a still lower temperature ranging down to 200°C. Magnetite and specularite are considered by LINDGREN<sup>(2)</sup> and EMMONS<sup>(3)</sup> to be characteristic minerals of the high temperature and pressure. In this case, LINDGREN also suggests that the deposits containing a large amount of these minerals have been formed between 300°C and 600°C. However, magnetite, if accessory, could possibly appear even in epithermal deposits and accordingly at a lower temperature. So far as is observed in the haematite ores from the Angaku Mine, magnetite always occurs in a minor amount, and it is, therefore, not evident whether its crystallization began at such a high temperature as proposed by KINOSAKI or not. The haematite ores here are often found together with barite crystals near the surface, but there are some tendencies to be intermixed with magnetite and pyrite in depth, indicating a transition of the mineral composition due to the decrease of temperature upward.

The haematite ores are also abundant at Sainei and Inritu Mines. They are partly micaceous haematite or specularite, and several transition stages can be seen between those composed of primary haematite and secondary ores derived from siderite. There is a tendency that such primary haematite ores gradually increase westward at the Sainei Mine. Hence, micaceous haematite networks are predominant at Hamaguriyama and Kokusui-hô where they traverse

(1) Y. KINOSAKI: The Angaku Iron Mine (Japanese), Jour. Geol. Soc. Tôkyô, No. 32, 1926, pp. 233-235.

(2) W. LINDGREN: Mineral Deposits, 1928, pp. 718-719, 781-783.

(3) W. H. EMMONS: Genetic Classification of Minerals, Eco. Geol., Vol. III, 1908, pp. 611-620.

limestone and conglomerate respectively. Similarly, numerous irregular veins of micaceous haematite or specularite or compact haematite are scattered in the granite mass intruded through limestone beds exposed at the Inritu Mine, whereas massive ore bodies in the limestone area are partly built up of limonite and haematite altered probably from siderite. The interesting features of these cases are the absence of barite in veins or networks mentioned above, and the presence of this mineral in ore bodies containing oxidation products of siderite. Since barite and siderite commonly occur in epithermal or mesothermal deposits, haematite veins or network free of these minerals are likely to have been formed at the temperature above 300°C. The limestone beds of the Inritu Mine were intensely subjected to the contact metamorphism due the granitic intrusion and are characterized by the occurrence of such minerals as diopside, phlogopite, scapolite, hedenbergite, garnet, etc. This alteration, therefore, took place undoubtedly at a high temperature prior to the deposition of ore bodies contained in limestone and granite.

The micaceous haematite deposit belonging to epithermal or mesothermal types is to be seen at Tôri (桃里) near Kenziho where the mineral contains abundant platy crystals and irregular masses of barite, showing that both the minerals were almost simultaneously precipitated.

The close association between barite and the primary haematite can be investigated at Kasei, Ginryû, and Inritu Mines. Hence, some of haematite, including even micaceous haematite or specularite, seem to be formed in a wide range of temperature. The possibility is discussed by KATÔ.<sup>(1)</sup> He cites several examples of specularite, crystallized at the shallow depth and associated with siderite.

The primary ores of haematite and limonite deposits, which are the main source and of iron ores at Kenziho, Kaisen, Kasei, and Ginryû Mines, are mostly of an epithermal type. Most of the iron ores of these

(1) T. KATÔ: Specularite Characteristic of Veins at Shallow Depths, *Eco. Geol.*, Vol. XVIII, 1923, pp. 695-696.

mines are probably alteration products of siderite, although there is a large amount of primary haematite ores. As will be inferred from the frequent occurrence of barite and siderite in them, the primary deposits are likely to have been built up at moderate temperature between 200°C and 300°C.

In the Kokkyô-Tentyû district, limonite deposits pass into many irregular lumps of pyrite downward. Here the ore bodies are absolutely free of barite and siderite, but are found together with low temperature quartz, but rarely with gypsum. Moreover, the mode of occurrence of pyrite is quite different from that in haematite ores of the Angaku Mine, indicating that such deposits may be of a shallow depth and of a rather low temperature.

### ORIGIN OF HAEMATITE AND LIMONITE DEPOSITS

As will be understood from the facts already mentioned, the deposits under consideration are mostly represented by limonite and associated with haematite which were secondarily derived from siderite. The relationship between limonite and siderite can precisely be observed at Kaisen, Kenziho, Ginryû, Sainei, and Kasei Mines. Limonite and haematite after siderite are frequently found in the adit of No. 1 outcrop of the Kaisen Mine, some of these preserving a rhombohedral form of the original mineral.

There is also a tendency that ore bodies composed of haematite and limonite pass into siderite masses in depth. Such feature are similarly confirmed at Inritu, Sainei, Ginryû, and Kasei Mines to some extent. Siderite in limestone beds occurs in different ways. It usually takes a bedded or lenticular form, but is frequently found in networks or irregular veins.

Some limestone beds are indistinctly impregnated by this mineral and yield a large amount of limonite ores in weathering. So far as is known at the Sainei Mine, Kyôsan, Sankokusan, Taikinsan, etc., iron ores are limonite or haematite as well as a mixture of both these minerals. Siderite is hardly to be seen in these ores at present, but

the presence of pseudomorph after this mineral suggests that some limonite and haematite are alterate products. Pyrite is also an important source of limonite ore in the Kokkyô-Tentyû district. The limonite ores of this area are, therefore, intermixed with pyrite close to the surface and gradually change into irregular bodies downward. The limonite deposits here are a good example of oxidation products of pyrite masses.

Haematite is partly derived from siderite as a result of oxidation, but it is mostly not of a secondary origin. For instance, limestone exposures of the Sainei Mine and Hamaguriyama are characterized by the frequent occurrence of haematite veins and its irregular masses. The similar features are also to be seen in the Upper Cretaceous conglomerate of Kokusui-hô and Tôri, as well as in the granite exposed at the Inritu Mine. Moreover, the haematite deposits of the Angaku Mine are one of the remarkable examples. These varying types of deposits are frequently arranged along the stratification plane of limestone, conglomerate, sandstone, and shale. If the original ore bodies consist of siderite, they indicate a gradual transition to the country rock.

Haematite and limonite deposits of Kenziho, Ginryû, and Sainei Mines are considered by some geologists to have contemporaneously been formed with the deposition of conglomerate, sandstone, and shale exposed there. However, the mode of occurrence of these ore bodies is mostly very complicated, and they are not always arranged parallel to the bedding plane. The sediments are thus occasionally cut by iron ores in networks, veins, etc. One of the remarkable examples can be seen at Seitû-san of the Kaisen Mine where irregular masses of haematite and limonite ores traverse mica-clayslate upward and grayish-white limestone downward.

Stratigraphically, ore bodies are contained in varying horizons of different systems. Furthermore, chemical investigation indicates that the ores are exceedingly low in phosphorus compared with those of a sedimentary origin. These facts are strong evidence for epigenetic deposits, and there are two possible sources of iron in these types of

primary deposits, having been supplied by ascending or descending mineralizing solutions.

The occurrence of similar deposits is also known abroad. The best examples are those found at Bilbao of Spain where ore bodies are contained in the Upper Cretaceous limestone. The ores consist of haematite and limonite containing siderite. In this case, siderite is mostly found at the lower part of the deposits, while it passes into limonite or haematite upward. The writer also intends to quote here some other characteristic examples. One of these can be seen at Egremont in Cumberland, where large haematite deposits occur in the Carboniferous limestone. The haematite ores of this area are associated with such gangue minerals as calcite, dolomite, quartz, barite, fluorite, etc. Some of these ores are, furthermore, intermixed with a minor amount of chalcopyrite. Haematite and limonite deposits are also distributed in the Ordovician limestone and its residual clay in the Twinngé district of the Northern Shan States, India. The famous limonite deposits of the Appalachian region are partly contained in the Cambro-Ordovician limestone and dolomite, as well as in residual clays derived from them. Besides, the brown haematite shows a tendency to change into siderite downward in the Cambro-Ordovician limestone of the Hudson district, New York. An almost similar relationship is seen between limonite and siderite contained in the limestone of the Caterville district, Georgia.

The genesis of these deposits has hitherto been investigated by many geologists. Among them, ADAMUS,<sup>(1)</sup> HARDER,<sup>(2)</sup> HAYES,<sup>(3)</sup> BROWN,<sup>(4)</sup> and SMITH<sup>(5)</sup> suppose that iron was probably derived from

(1) F. D. ADAMUS: Notes on the Iron Ore Deposits of Bilbao, Northern Spain, Rep. Canad. Min. Inst, 1901, p. 7.

(2) E. C. HARDER: The Iron Ores of the Appalachian Region in Virginia, Bull. U. S. Geol. Surv., No. 380, 1908, pp. 244-245.

(3) C. W. HAYES and E. C. ECKEL: The Iron Ores of the Carterville District, Georgia, Bull. U. S. Geol. Surv., No. 213, 1903, p. 242.

(4) J. C. BROWN: A Note on the Iron Ore Deposits of Twinngé, Northern Shan States, Rec. Geol. Surv. India, Vol. XLVIII, Part 2, 1916, pp. 137-141.

(5) B. SMITH: The Origin of Cumberland Haematite, Sum. Prog. Geol. Surv. London. 1928, pp. 13-16.

the overlying rocks in weathering and was transported downward by the meteoric water. But, JOHN,<sup>(1)</sup> VAN DER VEEN,<sup>(2)</sup> and DIXON<sup>(3)</sup> attribute the source of iron to the ascending mineralizing solution associated with igneous intrusion.

In Kôkai-dô and S. Heian-dô, the haematite and limonite deposits under consideration are always associated with residual clays derived from limestone and other sediments. Such clays sometimes contain 10 per cent or more of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , although corresponding unweathered sediments are usually very low  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{FeO}$ . Ferric oxide is, therefore, frequently enriched in weathering products, forming small ore bodies. It is also believable that some of it is carried downward by the surface water. If the underlying rocks were limestone or calcareous sediments, siderite might be formed as irregular lumps and veins under favourable conditions. They are, however, always of a small scale and are economically worthless.

In general, ore bodies are found in some restricted beds and are traceable in the same horizon for a long distance. This fact seems to suggest that most of the original deposits were not produced by the surface water.

One of the interesting features in these types of deposits is the frequent occurrence of barite together with iron ores. It is particu-

(1) H. JOHN: Die Eisenerzlagerstätten von Bilvao, Zeitschr. Prakt. Geol., XIX, 1911, s. 211-212.

(2) R. W. VAN DER VEEN: Origin of the Bilbao, Almeria and Santander Iron Ores, Eco. Geol., Vol. XVII, 1922, pp. 604-607.

(3) E. E. L. DIXON: The Origin of Cumberland Haematite, Sum. Prog. Geol. Surv. London, 1928, pp. 3-12.

Mr. DIXON refers particularly to the occurrence of fluorite associated with Cumberland haematite and maintains that the deposits were formed by the magmatic water. This is, however, strongly opposed by Dr. SMITH in the basis of an argument that fluorite is genetically quite indifferent from the formation of haematite deposits.

In 1930, the writer had an opportunity to talk with Mr. Dixon and Dr. Smith on this subject. He visited also Florence and Ullcot Mines near Egremont of Cumberland and had much interest to the frequent occurrence of fluorite, barite, dolomite, specularite, high temperature quartz, etc., incrusting the surface of the massive haematite ores in the mines mentioned above. These minerals seem to the writer to have some genetical connection with the deposition of haematite ores.

larly abundant at Kenziho and Sainei Mines, being intermixed with siderite, limonite, and haematite.

Barium salts are, according to TARR's investigation,<sup>(1)</sup> hardly soluble in most ground waters, particularly in carbonate waters common to limestone regions. Such a character is remarkably shown by barium sulphate. So far as indicated by the results of chemical analyses carried out by CLARKE,<sup>(2)</sup> 18 shale and 235 sandstones contain only 0.05 per cent BaO, but 843 limestones are absolutely free of it. DICKSON<sup>(3)</sup> also fails to detect it in numerous limestones. BaO is nearly absent in the magnesian limestone from Missouri which were chemically analysed by WINSLOW.<sup>(4)</sup> Moreover, STEEL<sup>(5)</sup> states that the Ordovician limestones from Missouri contain only 0.001 to 0.005 per cent BaO.

The writer has collected many specimens of limestone from different areas of the Kenziho Mine where barite crystals are abundantly present in iron ores and has intended to confirm the amount of BaO in these limestones. The results of chemical investigations indicate that it is negligible in all specimens. If barite were precipitated from the surface water percolating through overlying rocks, it should be distributed even in the area free of ore bodies. But it is always associated with ores and is never found as isolated masses or veins. Barite is sometimes contained in the ore bodies exposed at the contact between limestone and granite, as is shown at Nôsen No. 1 outcrop of the Inritu Mine. In this case, barium sulphate does not seem to have been supplied by surface waters.

It is also noteworthy that iron ores of the Sainei Mine is represented by limonite or the mixture of limonite and haematite in the

(1) W. A. TARR: The Barite Deposits of Missouri, *Eco. Geol.* Vol. XIV, 1919, pp. 59-60.

(2) F. W. CLARKE: Data of Geochemistry, *Bull. U. S. G. S.*, No. 616, pp. 27-34.

(3) C. W. DICKSON: The Concentration of Barium in Limestone, *School of Mines Quart.*, 23, 1902, pp. 366-370.

(4) A. W. WINSLOW: The Lead and Zinc Deposits of Missouri, *Mono. Geol. Surv.* Vol. 7, 1894, pp. 480-481.

(5) A. A. STEEL: *Trans. Am. Inst. Min. Eng.*, 40, 1910, pp. 85-117.

Upper Cretaceous sediments, whereas they are almost micaceous haematite in the underlying limestone. A similar tendency can be observed at the Angaku Mine where micaceous haematite conspicuously increases downward. Barite is, on the other hand, predominant only at the upper portion of the deposits and in limonite ores derived from siderite. These features are generally expected to be seen in the deposits of a magmatic origin.

As will be inferred from several evidences, almost all the primary deposits are likely to have been formed by magmatic waters rising through the fissures and passing through the bedding planes of limestone, conglomerate sandstone, and shale. The rocks were, under favourable conditions, replaced by siderite or haematite or pyrite, resulting lenticular or irregular masses along the passage of mineralizing solutions. The occurrence of large ore bodies are known in the area where the formation is intercalated by the beds susceptible to mineralization.

Limestone and other sediments are intensely subjected to weathering and pass into residual clays upward. Whenever these sediments contain ore bodies, residual deposits are always formed *in situ*. In this case, ore bodies are generally crumbled into innumerable fragments, large or small, without any regular arrangement, but they are sometimes preserved as huge masses with irregular forms.

Fragmental ores of limonite and haematite frequently show a tendency to be abundant at the bottom of residual clays, as can be observed at open pits where underlying rocks are exposed. It is probably caused by the downward migration of ore fragments floating in loose residual clays and also the further disintegration of these fragments imbedded close to the surface.

There are, furthermore, some ore bodies resulted from the local enrichment of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , which was carried out by the meteoric water percolating residual clays. The possibility of such ores are indicated by EGKEL,<sup>(1)</sup> supposing that limonite 0.5 ft. thick can theoretically be

(1) E. C. ECKEL: *Iron Ores*, 1914, pp. 96-97.



derived from limestone 100 ft. in thickness. One of the examples is represented by the limonite ores precipitated in small limestone holes where they are found together with residual clays. It is, therefore, evident that surface deposits were mainly derived from several kinds of sediments with ore bodies and were subordinately supplied by the meteoric water passing through the weathering products.

### SUMMARY

(1) There are many characteristic haematite and limonite deposits in the hilly area extending from S. Heian-dô to Kôkai-dô. These iron-bearing districts are mostly made up of varying kinds of sedimentaries together with some metamorphics and igneous rocks, being partly covered by residual clays.

(2) The areas are intensely disturbed by folding and faulting which repeatedly took place before the end of the Cretaceous.

(3) Some haematite and limonite deposits under consideration are found in several horizons of the sediments ranging from Pre-Cambrian up to Cretaceous, and they are usually contained as irregular massive bodies, veins and networks. Small haematite veins are also present in the granite exposed in the Inritu Mine district. The fragmental ores are, furthermore, scattered widely in the residual clays derived from these rocks.

(4) The deposits are mostly composed of limonite and haematite ores intermixed in a different proportion, showing a gradual transition from one to another. The deposits are, however, almost represented by haematite at the Angaku Mine.

(5) The associating minerals of haematite and limonite ores are barite, siderite, magnetite, goethite, pyrite, malachite, chalcopryrite, psilomelane, etc. The limonite and haematite ores are sometimes the alterative products of siderite, but they are often derived from pyrite in weathering. It is noteworthy that these ores pass occasionally into such primary minerals downward.

(6) As is shown at the Inritu Mine, the haematite and limonite deposits sometimes occur close to limestone rich in limesilicates, resulted from the contact metamorphism due to the granitic intrusion.

(7) Chemically, the ores in the Cretaceous conglomerate, sandstone and shale have a tendency to be rich in silica compared with those in limestone of an older geological age. They are characterized by the low percentage of phosphorus which is largely present in the ores of the sedimentary origin.

(8) Both the geological and mineralogical evidences are likely to suggest that the primary deposits were formed by the magmatic water. It was probably injected along the bedding planes of limestone and other sediments, as well as through the minute cracks of various kinds of the rocks.

(9) The temperature for the formation of primary deposits are probably to be inferred from the occurrence of micaceous haematite or specularite, magnetite, barite and siderite. Micaceous haematite is associated with magnetite at the Angaku Mide, but with barite at at Tôri near Kenziho, suggesting that it can be crystallized in a wide range of temperature.

(10) So far as is shown at present, the primary deposits are undoubtedly of an epithermal or mesothermal type, and the formation of these deposits seems to have mostly been connected with the remarkable igneous activities followed after an enormous disturbance which happened in the end of the Cretaceous.

(11) Siderite or pyrite of such primary deposits were oxidized later to limonite or other secondary iron ores near the earth's surface. In weathering, they were broken into fragmental ores and were crumbled into the residual clays derived from country rocks, yielding many surface deposits which are now very important sources of iron ores in Chôsen.

(12) The residual clay frequently contains 10% or more of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ferric oxide may be transported downward by the surface water,

and it is probably possible that some of it is locally concentrated to form ore masses in favourable conditions. It is also expected to replace such a sediment as limestone directly beneath the residual clay and may be precipitated as siderite or limonite, although the chemical process is carried out to a small extent.

(13) The haematite and limonite deposits mentioned above have a close similarity to those of Bilbao, Cumberland, etc. in many respects.

**PLATE XVIII [I]**



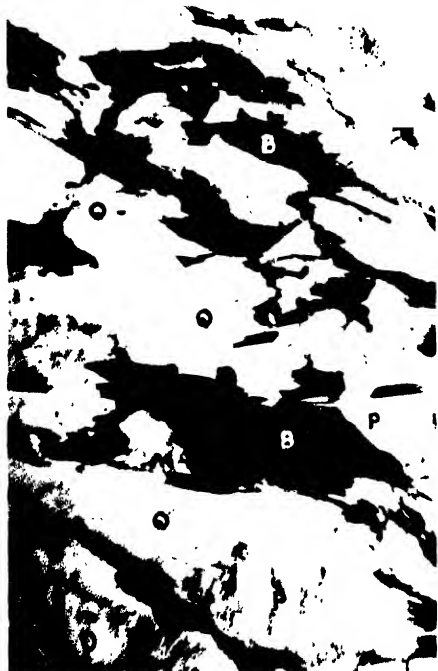


Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.



**PLATE XIX [II]**



## **Explanation of Plate XIX [II]**

**Fig. 1.** Biotite-granite from Kensonri near the Kasei Mine.  $\times 26$ .

B=Biotite, M=Magnetite, Mc=Microcline, P=Plagioclase, Q=Quartz.

Crossed nicols.

**Fig. 2.** Biotite-diorite-porphsrite from Suika near Kintokusan of the Kaisen Mine.  $\times 60$ .

B=Biotite, P=Plagioclase.

Crossed nicols.

The groundmass of this rock is a fine aggregate of plagioclase, quartz, magnetite, biotite, etc.

**Fig. 3.** Biotite-quartz-porphyry from near Sinken of the Kaisen Mine  $\times 60$ .

B=Biotite, O=Orthoclase, Q=Quartz.

Crossed nicols.

The groundmass shows a microgranitic aggregate of quartz, orthoclase, plagioclase and magnetite.

**Fig. 4.** Kersantite from the southeastern foot of Syôkotu-hô of the Kaisen Mine.  $\times 26$ .

B=Biotite, M=Magnetite, P=Plagioclase.

Flaky crystals of biotite are abundantly present in this rock, being partly chloritized.



Fig. 1. Biotite-granite  
B=Biotite, M  
Quartz.

Fig. 1. Biotite-granite  
B=Biotite, M  
Quartz.

Fig. 2. Biotite-diorite-po  
Mme.  $\times 60$ .  
B=Biotite, P=Pl.

Fig. 2. Biotite-diorite-po

The groundmass  
quartz, magnet

Fig. 2. Biotite-diorite-po  
B=Biotite, P=Pl.

Fig. 3. Biotite-quartz-porpl.  
B=Biotite, O=Orth

Fig. 3. Biotite-quartz-porpl.

The groundmass is  
orthoclase, plagioclase

Fig. 3. Biotite-quartz-porpl.  
B=Biotite, O=Orth

Fig. 4. Kersantite from the s  
Mine.  $\times 26$ .

Fig. 4. Kersantite from the s

B=Biotite, M=Magnet  
Flaky crystals of biotite  
partly chloritized.

Fig. 4. Kersantite from the s  
Mine.  $\times 26$ .



Fig. 1.

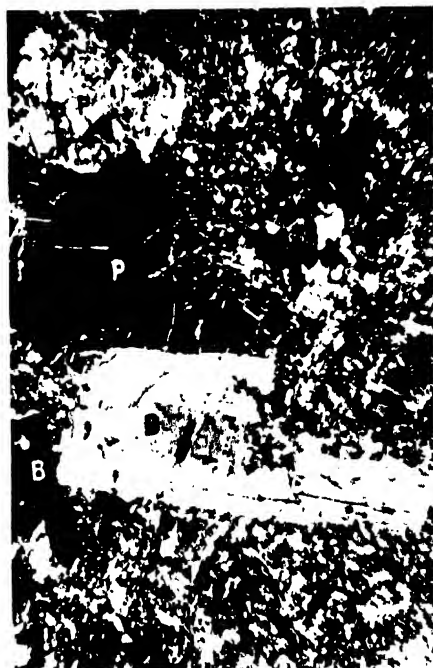


Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.







**PLATE XX [III]**



### **Explanation of Plate XX [III]**

**Fig. 1.** Spessartite from Sendô of the Kaisen Mine.  $\times 26$ .

B=Biotite, H=Hornblende, M=Magnetite, P=Plagioclase.

In this rock, hornblende is a predominant ferro-magnesian mineral and is usually associated with a minor amount of biotite which is partly chloritized.

**Fig. 2.** Felsite from Hakkatudô of the Kasei Mine.  $\times 60$ .

M=Muscovite.

Crossed nicols.

The rock is a confused aggregate of orthoclase, quartz, plagioclase, sericite, etc.

**Fig. 3.** Orthophyre from Syôrin-san near Kenziho.  $\times 26$ .

C=Secondary calcite, M=Magnetite, O=Orthoclase.

Crossed nicols.

**Fig. 4.** Porphyrite from Kenziho.  $\times 26$ .

P=Plagioclase.

Crossed nicols.







Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4



**PLATE XXI [IV]**





Fig. 1.



Fig. 2.

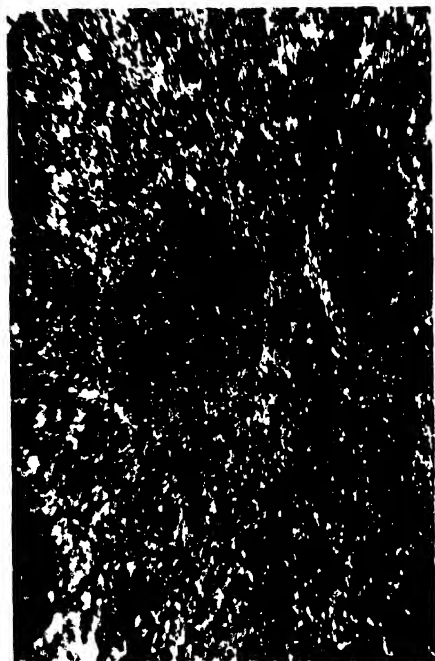


Fig. 3.



Fig. 4.





**PLATE XXII [V]**

## **Explanation of Plate XXII [V]**

**Fig. 1. Goethite passing into haematite. ×26.**

**G=Goethite, H=Haematite.**

**Crossed nicols.**

**Old open pit of Koken of the Inritu Mine.**

**Fig. 2. Flaky aggregate of micaceous haematite which is somewhat magnetic. ×45.**

**Sainei Mine**

**Fig. 3. Pyrite crystals in the haematite ore. ×170.**

**H=Haematite, P=Pyrite.**

**Sangôyama of Angaku Mine.**

**Fig. 4. Pyrite altering into limonite. ×45.**

**L=Limonite, P=Pyrite.**

**Gatai in Tentyû-men.**







Fig. 1.



Fig. 2.

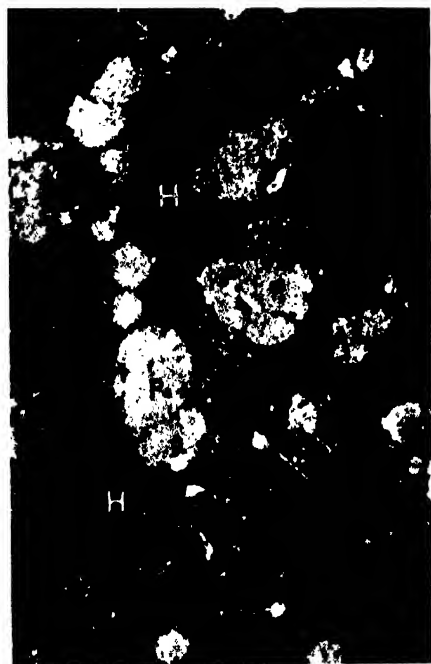


Fig. 3.



Fig. 4.



**PLATE XXIII [VI]**



### **Explanation of Plate XXIII [VI]**

Fig. 1. Siderite changing into haematite along the rhombohedral cleavages.  
×26.

H=Haematite, S=Siderite.

No. 2 outcrop of Seitû-san of the Kaisen Mine.

Fig. 2. Siderite changing into limonite. ×26.

L=Limonite, S=Siderite.

No. 4 section of the Ginryû Mine.

Fig. 3. Barite crystal traversed by micaceous haematite. ×26.

Tôri near Kenziho.

Fig. 4. Metamorphosed limestone from the Inritu Mine. ×60.

D=Diopside, P=Pyrrhotite, Ph=Phlogopite.





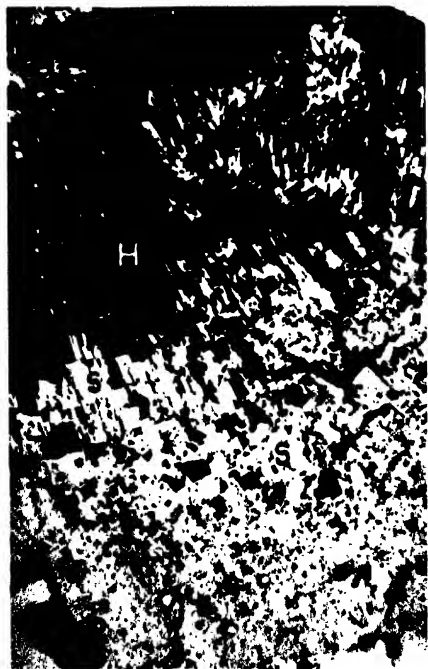


Fig. 1.

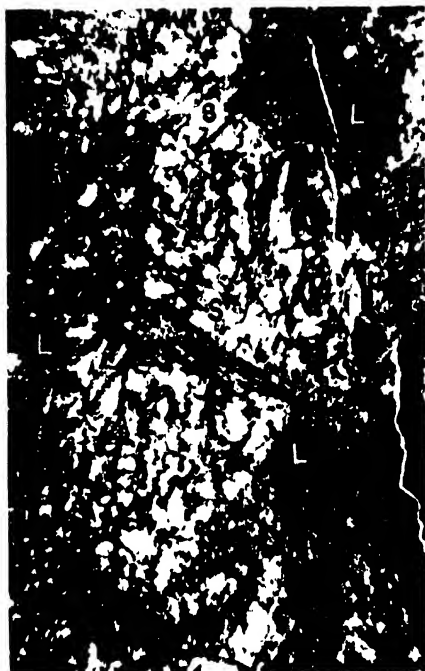


Fig. 2.

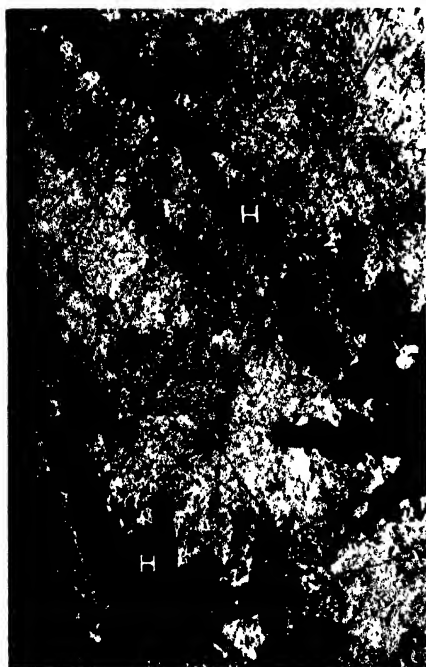


Fig. 3.



Fig. 4.



**I.A.R.I. 75**

INDIAN AGRICULTURAL RESEARCH  
INSTITUTE LIBRARY, NEW DELHI.

[illegible]



**I.A.R.1. 7:**

INDIAN AGRICULTURAL RESEARCH  
INSTITUTE LIBRARY, NEW DELHI.

[illegible]

GIPNLK—H-40 I.A.R.I.—29-4- 5—15,000